

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANO A
PARTIR DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA.**

**YIRLEY RACINES GUZMÁN
MARYLIN SANTANDER BOSSIO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniera Ambiental**

**Director
RUBEN CANTERO**

**Co-director
JORGE CARDENAS**

UNIVERSIDAD DE LA COSTA – CUC

BARRANQUILLA – ATLÁNTICO

MAYO, 2016

ACTA N° ____ 18 ____
 DE SUSTENTACIÓN DE PROYECTO NOTA DE ACEPTACIÓN

En la Universidad de la Costa, CUC, siendo las 3:00 pm. horas, del día 7 de Junio del año 2016 en cumplimiento de lo señalado en el Acuerdo 237, se presentó el(los) estudiante(s):

YIRLEY RACINES OLIZMAN
 MARYLIN SANTADER BOSSIO

4.4

Con el fin de sustentar el proyecto de grado titulado:

IMPLEMENTACION DE UNA CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANO A PARTIR DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA.

Ante el comité evaluador, integrado por:

Asesor: RUBEN CANTERO NODOL

Evaluador: GABRIEL DARIO PINO

Evaluador: LEANDRO GOMEZ

Firma del jurado

Concluida la presentación y la defensa oral, el comité evaluador dictaminó otorgarle una calificación de 4.4

El Director de Programa le hizo saber al sustentante el resultado obtenido

Firma del jurado

Barranquilla, 2016

Director de Programa

Situación: cinco, cuatro, tres, no aprobada, incompleto



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO
UNIVERSIDAD DE LA COSTA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

ACTA N°: 18
DE SUSTENTACIÓN DE PROYECTO DE GRADO

En la Universidad de la Costa, CUC, siendo las 3:00 pm. horas, del día 7 de Junio del año 2016 en cumplimiento de lo señalado en el Acuerdo 237, se presentó el(los) estudiante(s):

YIRLEY RACINES GUZMAN
MARYLIN SANTADER BOSSIO

Con el fin de sustentar el proyecto de grado titulado:

IMPLEMENTACIÓN DE UNA CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANO A PARTIR DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA.

Firma del(los)
interesado(s)

Marylin Santander Bossio

Yirley Racines Guzman

Ante el comité evaluador, integrado por:

Asesor: RUBEN CANTERO RODELO

Evaluador: GABRIEL DARIO PIÑERES ESPITIA

Evaluador: LEANDRO GOMEZ PLATA

Concluida la presentación y la defensa oral, el comité evaluador dictaminó otorgarle una calificación de* 4.4

El Director de Programa le hizo saber al sustentante el resultado obtenido

Ruben Cantero R.
Nombre de Asesor

Jose Yarro Castanos C.
Nombre de Coasesor

Leandro Gómez P.
Nombre de evaluador

Gabriel D. Piñeres Espitia
Nombre de evaluador

Dereky Moguila B.
Director de Programa

*Opciones de calificación: cinco, cuatro, tres, no aprobada, incompleto

Dedicatoria

Dedicamos nuestro trabajo primeramente a Dios, por darnos la fuerza para afrontar el reto de elaborar un proyecto de grado, con todos los sacrificios y la dedicación que implica, colocando en nuestro recorrido personas que hicieran esta meta posible.

A nuestros familiares y amigos, quienes siempre brindaron su apoyo incondicional, creyeron en nuestras capacidades y dieron una voz de aliento en el momento indicado.

Agradecimientos

Las autoras se complacen en expresar su agradecimiento a:

El ingeniero industrial Rubén Cantero Roderó, quien desde su experiencia y con la mejor disposición, aportó incondicionalmente el conocimiento necesario para guiar el presente proyecto.

El ingeniero electrónico Jorge Cárdenas Cabrera, quien en un principio, aportó su conocimiento técnico para el correcto funcionamiento del montaje.

La Universidad de la Costa, CUC, quien a lo largo de la carrera ingeniería ambiental, permitió adquirir las competencias para lograr la elaboración del presente trabajo de grado.

Todas aquellas personas que con su ayuda permitieron hacer de este trabajo, una realidad.

Tabla de Contenido

1. Introducción	14
2. Descripción del Problema	16
3. Objetivos.....	17
3.1. Objetivo General.....	17
3.2. Objetivos Específicos	17
4. Marco Teórico y Estado del Arte.....	18
4.1. Estado del Arte	18
4.2. Marco Teórico.....	23
5. Diseño metodológico	30
5.1. Tipo de Estudio.....	31
5.2. Técnicas de Investigación	32
5.2.1. Recolección de Información.....	32
5.2.2. Fase de Diseño y Puesta en Marcha	32
5.2.3. Evaluación Eléctrica del Montaje	35
5.2.4. Análisis de Laboratorio.....	35
5.2.5. Evaluación de la Eficiencia del Montaje	36
6. Resultados y Análisis.....	37
6.1. Fase de Diseño y Puesta en Marcha.....	37
6.1.1. Configuración de Diseño.....	37
6.1.2. Electrodo.....	38

6.1.3. Membrana de Intercambio Protónico	39
6.1.4. Montaje del Diseño Experimental	40
6.2. Evaluación Eléctrica del Montaje	41
6.2.1. Diferencia de Potencial	42
6.2.2. Corriente Eléctrica.....	48
6.3. Evaluación de la Eficiencia del Montaje.....	51
7. Conclusión	54
Referencias.....	57
Anexos.....	64
Anexo 1. Registro de Datos de Diferencia de Potencial Generada.....	64
Anexo 2. Registro de Datos de Corriente Generada.	69
Anexo 3. Caracterización de afluente.....	72
Anexo 4. Cálculos de Porcentaje de Remoción de DBO.....	73
Anexo 5. Cálculos de Porcentaje de Remoción de DQO	75
Anexo 6. Registro Fotográfico.....	76
Anexo 7. Presupuesto.	82

Lista de tablas

Tabla 1. Diseño metodológico.....	31
Tabla 2. Materiales para elaboración de Celda de Combustible Microbiano. ..	34
Tabla 3. Métodos Analíticos Empleados en los Análisis Fisicoquímicos.	36
Tabla 4. Tipos de Electrodo Empleados en el Diseño de Celda de Combustible Microbiano.	39
Tabla 4. Uso de Membrana de Intercambio Protónico en Celda de Combustible Microbiano.	40
Tabla 6. Correlación entre DBO, DQO y Voltaje.	46
Tabla 7. Correlación entre pH, conductividad, Oxígeno Disuelto (OD), temperatura y voltaje generado.	47
Tabla 8. Comparación de antecedentes del proyecto.....	50

Lista de Gráficas

Gráfica 1. Diferencia de Potencial durante cinco horas previas a la obtención del máximo voltaje generado.....	43
Gráfica 2. Diferencia de Potencial durante una hora posterior a la obtención del máximo voltaje generado.....	44
Gráfica 3. Corriente eléctrica generada durante un determinado periodo de tiempo, empleando Membrana de Intercambio Protónico – Evaluación de máxima corriente.	48
Gráfica 4. Comparación entre el Tipo de Flujo, la Demanda Química de Oxígeno y la Demanda Biológica de Oxígeno en la MFC.	52
Gráfica 5. Porcentaje de remoción de acuerdo a tipo de flujo.	52

Lista de Figuras

Figura 1. Detalles principales de una MFC de cámara doble.	24
Figura 2. Bacterias eléctricas.....	25
Figura 3. Esquema de una MFC convencional.	26
Figura 4. Esquema de Diseño de la Celda de Combustible Microbiano.	37
Figura 5. Funcionamiento de la Celda de Combustible Microbiano.	41

Resumen

En la presente investigación se pretende evaluar la generación de energía eléctrica a partir de procesos de degradación de materia orgánica, mediante la implementación de una celda de combustible microbiano a escala piloto o de laboratorio, cuya funcionalidad se basa en la conversión de la energía química a energía eléctrica, a partir de procesos de degradación de materia orgánica llevados a cabo por microorganismos presente en las agua residuales.

El montaje experimental del sistema consta de dos cámaras, una anaerobia y otra aerobia, separadas por una membrana de intercambio protónico. Los electrodos a ser utilizados en la celda de combustible microbiano fueron determinados luego de variadas pruebas que ayudaron a identificar el de mayor eficiencia de acuerdo al voltaje obtenido, debido a esto fue posible establecer el uso de electrodos de cobre, ya que registraron la mayor diferencia de potencial, con un voltaje de 1.44 V.

Palabras Claves: energía eléctrica, celda de combustible microbiano, energía química, membrana de intercambio protónico, voltaje, diferencia de potencial.

Abstract

In the current investigation we pretend to evaluate the electrical energy generated by degradation processes of organic matter through the implementation of a microbial fuel cell on a pilot scale or laboratory, whose functionality is based on the conversion of chemical energy to electrical energy, from degradation processes of organic matter carried out by microorganisms present in the waste water.

The experimental system assembly consists of two chambers, an anaerobic and another which is aerobic, separated by a proton exchange membrane. The electrodes used in the microbial fuel cell were determined after various tests that helped to identify the highest efficiency according to the voltage obtained, because of this, it was possible to establish the use of copper electrodes, with which is recorded the highest potential difference with a voltage of 1.44 V.

Keywords: electric power, fuel cell microbial, chemical energy, proton exchange membrane, voltage, potential difference.

1. Introducción

En la actualidad se evidencia un alto índice de contaminación de los cuerpos de agua por causa de los efluentes que son vertidos a los mismos, además, es observable un agotamiento del recurso producido por las hidroeléctricas las cuales son el medio de obtención de energía en Colombia. Este proyecto, mediante el diseño de modelos a escala piloto de celdas de combustible microbiano (MFC) a partir de agua residual doméstica, contribuye con la generación de energía de una forma sostenible y amigable con el medio.

Una celda de combustible microbiano es un sistema capaz de convertir la energía química en energía eléctrica a partir de procesos de oxidación y reducción de ciertos microorganismos sobre la materia orgánica presente en aguas residuales. Estos no solo favorecen a la obtención de energía renovable, sino también contribuyen el tratamiento de las aguas servidas, obteniendo beneficios a nivel social, ambiental y económico, lo cual permite el cumplimiento de los principios del desarrollo sostenible.

El uso excesivo del petróleo y sus derivados como fuentes principales para la generación de energía eléctrica ha venido deteriorando el medio ambiente, Colombia, es muestra de ello, el cambio climático hace al país vulnerable ante crisis energética, se estima que cerca del 70% de la energía eléctrica obtenida proviene de hidroeléctricas las cuales cuentan con un nivel muy bajo en los embalses (National Geographic, 2007).

Debido a la amenaza de una crisis energética en el país, se hace indispensable la búsqueda de nuevas alternativas para la obtención de energía de forma renovable y sostenible, es allí donde surge la bioenergía, la cual se genera mediante procesos biológicos, como los ocurridos en las aguas residuales cuando se degrada la materia orgánica por acción microbiana, proceso presentado en los sistemas de Celda de Combustible Microbiano.

Con base a lo anterior se decide implementar una celda de combustible microbiano a escala piloto, con el objetivo de evaluar la eficiencia eléctrica del montaje a partir de la medición de la diferencia de potencial generada entre los electrodos de cobre, la cual registro un voltaje máximo de 1.44 V.

Además, se estima la eficiencia del sistema mediante el cálculo del porcentaje de remoción de la carga orgánica presente en el agua residual domestica utilizada, la cual arrojo un porcentaje máximo de remoción para DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) de 91.66% y DQO (Demanda Química de oxígeno) de 97.93%.

2. Descripción del Problema

Actualmente se observa un crecimiento acelerado de la población, los países en vía de desarrollo poseen las tasas de crecimiento poblacional más altas en el mundo. Colombia entre los años 2015 y 2020 prevé una tasa anual de crecimiento exponencial del 1,09% (DANE, s.f.), este incremento poblacional apresurado contrasta con las políticas de implementación de un desarrollo sostenible, que se encuentran expresadas en la ley 99 de 1993, además de los principios propios del modelo, como lo son la relación con la sociedad, la economía y el ambiente.

El incremento apresurado de la población no solo genera problemas sociales, si no también ambientales, entre más personas habiten el planeta, mayor será el consumismo, el gasto energético y el agua necesaria para abastecerlos, aumentando así la generación de residuos, la huella de carbono y la producción de agua residual, por lo que es indispensable la búsqueda de nuevas alternativas para la obtención de energía de forma renovable y sostenible (Alfaro, 2011).

Pero ¿Cómo obtener energía eléctrica a partir del aprovechamiento de agua residual?, uno de los sistemas empleados para producción de electricidad a través de este insumo son las celdas de combustible microbiano, las cuales son una opción eficiente y a bajo costo, para la generación de energías limpias.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Implementar un modelo a escala piloto de una celda de combustible microbiano (MFC), para la generación de energía eléctrica, mediante procesos de degradación de materia orgánica.

3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar un modelo a escala piloto de una celda de combustible microbiano.
- Describir el comportamiento eléctrico de la celda de combustible microbiano.
- Evaluar la eficiencia del montaje mediante la remoción de carga orgánica presente en el agua residual doméstica.

4. Marco Teórico y Estado del Arte

4.1. Estado del Arte

De acuerdo a la revisión bibliografía, se registran desde el 2002 investigaciones de prototipos de Celdas de Combustible Microbiano similares a la empleada en el presente proyecto, con aguas sintéticas, ejemplo de ello es la desarrollada en el proyecto “Improved Fuel Cell and Electrode Designs for Producing Electricity from Microbial Degradation” (Hyun, 2002) y “Dynamic Behaviors of Redox Mediators within the Hydrophobic Layers as an Important Factor for Effective Microbial Fuel Cell Operation” (Choi, 2002), cuyo fin era evaluar la producción de electricidad a partir de la degradación de la materia orgánica debido a la acción microbiana, incluyendo factores mejoradores.

Consecutivo a lo anterior, entre los años 2003 y 2006, se efectúan otro tipo de investigaciones con objetivos variados, dentro de los cuales se destaca la evaluación de las MFC mediante la oxidación directa de la glucosa (Chaudhuri, 2003), además de modificaciones en cuanto al montaje, evidenciándose configuración de cámaras mejoradas (Cheng, Liu, & Logan; et al 2006), tales como: Bioreactor desacoplado de la MFC, Bioreactor integrado a la MFC y MFC con transferencia directa de electrones, estructura y material de electrodos diferentes (Cheng, S., Liu, H & Logan, B, 2006). Cabe destacar que durante el tiempo mencionado inician estudios con enfoque a análisis de la parte microbiológica de las celdas (Rae, J., Min, B & Logan, B, 2005), seleccionando

consorcios de microorganismos y evaluando su comportamiento en el sistema (Rabaey, K., Boon, N., & Verstraete, W, 2004).

Según Booki M, Kima j, Oha S, Regana J, b & Logan B en el 2005 las celdas de combustible microbiano representan un nuevo método para el tratamiento de aguas residuales de origen animal y la generación de energía simultáneamente. Estos realizaron pruebas preliminares con 500 mL de agua porcina con una DQO de 8320 mg/L, obteniendo una remoción del 8% en la primera cámara y del 28% en la segunda cámara.

Se empleó un cátodo de aire en una celda de combustible microbiano con una separación de cámaras de 2 a 4 cm, teniendo en cuenta que a mayor separación disminuye la resistencia interna de la MFC, con esta configuración de celda se obtuvieron resultados de 0,82 Voltios, empleando agua residual domestica de 255 mg/L DQO y pH de 7.5, con flujo continuo de caudal de 6.1 mL/h, tiempo de retención 3.4 h en separación de 1 cm y tiempo de retención 4.6 para separación de 2 cm (Cheng, Liu & Logan, 2006).

Existen diferentes configuraciones en una celda de combustible microbiano, Bradleyr, R., et al en 2006 evaluaron una celda de combustible miniatura empleando 2.4 cm³ de agua residual sintética con un flujo continuo de caudal

entre 0.6 y 20 mL/min, empleando como catalizador *Shewanella oneidensis* DSP10, obteniendo una diferencia de potencia de 0.75 Voltios.

Se evaluó el rendimiento de la producción de electricidad a partir de aguas residuales de una fábrica de cerveza en una MFC de una sola cámara sin membrana. Los resultados experimentales mostraron que esta podría generar electricidad a partir de aguas residuales sin diluir (DQO 2239 mg/L; DBO 1340 mg/L; pH 6.5; SST 480) obteniendo una diferencia de potencial promedio de 0.55 Voltios, con porcentajes de remoción del 85%. Los resultados sugieren que es factible para generar electricidad con el tratamiento de aguas residuales de cervecería (Wang, Feng, & Lee, 2008).

Para el año 2008 hasta el 2010, se tuvieron en cuenta un número mayor de investigaciones que involucran las celdas de combustible microbiano, sin embargo se considera un tema de estudio nuevo, puesto que aún se encuentra en análisis y no se define procesos específicos dentro del sistema, se han elaborado proyectos desde diferentes ángulos, haciendo cambios en cuanto a electrodos (Shimoyama, T., Komukai, S., & Watanabe, K, 2008), tipo de flujo, configuraciones de diseño, microorganismos, membrana de intercambio protónico y principalmente tipo de agua a tratar, siendo este aspecto el de mayor variabilidad en investigaciones con respecto a MFC (Carlos Pistonesi, 2010). Se evidencian aplicaciones experimentales en aguas residuales domesticas o industriales y en su mayoría aguas sintéticas, como es el caso de la investigación

titulada “Generación de electricidad a partir de una celda de combustible microbiana tipo pem” (Gaviria, L. A., Albarran, C. F., Gallegos, A. Á., & Sebastian, P. J., 2008), cuya tipo de agua a tratar son las agua residuales sintéticas, en un diseño de dos cámaras.

En el año 2011 se identificó de acuerdo a las investigaciones encontradas, una novedad en cuanto al tipo de membrana de intercambio protónico utilizada en los prototipos, en los cuales hicieron uso de otro tipo de membranas, tales como: Selemion (Lefebvre, A. uzabiaga, & W. Liu and H. Y. Ng, 2011) y Ultrex (Rismani, H., Christy, A., & Tuovinen, O, 2011), de tal forma que fue posible evidenciar el uso de nuevos materiales en el diseño de las celdas de combustible microbiano, dejando abierta la posibilidad de reemplazar la implementación de la membrana comercial Nafion, pese a su alta eficiencia.

Por otra parte, la elevada reproducibilidad y la utilización flexible de fuentes de carbono, incluyendo substratos de naturaleza macromolecular, son requisitos previos para una posible utilización de las MFCs como sensores de DBO, toxicidad y/u otros parámetros ambientales de calidad de agua, que pueden ser relacionados con la actividad metabólica de distintos organismos, como por ejemplo las bacterias del genero *Geobacter Metallireducens* (Mejía, Vásquez & González, 2012).

La complementación de conceptos y técnicas provenientes de áreas como la biología, la microbiología y la electroquímica, pueden pasar a ser de extrema

importancia para desarrollar procedimientos exactos y prácticos para supervisar sistemas naturales o artificiales del agua, de tal manera hacer frente a los problemas ambientales. (Sacco, Bonetto & Corton, 2015). El comportamiento eléctrico de sistemas biológicos propios de zonas aluviales o valles de ríos y quebradas con influencia de aguas residuales son potencialidades de bioelectricidad aplicables en el marco de biotecnologías ambientales en función de la depuración y la generación de energía (Asprilla, 2015), en las cuales se recomienda una mezcla de varias especies con actividades metabólicas diferentes y mayor afinidad a una gran variedad de sustratos, debido a que es más prometedor para este tipo de aplicación (Sacco, et al. 2015).

Revelo, utilizó un diseño de una MFC de reactor desacoplado, logró reducir en corto periodo de tiempo materia orgánica (glucosa) y Cr(VI), sin embargo, la mayor EC (1,0415%) que se obtuvo en la celda S3 a una concentración de glucosa de 0.05M, no es suficientemente alta para postular la CCM como una alternativa energética, esto demuestra que de los electrones liberados en la cámara anódica muy pocos llegan al electrodo, por lo tanto se debe profundizar en el entendimiento de los mecanismos involucrados y en los factores que influyen en la resistencia al flujo de electrones de la celda, un aspecto importante en su comportamiento eléctrico (Revelo, et al. 2015).

Torres, demostró en Colombia que el sustrato que produce un mayor voltaje es el barro, produciendo una media de 76,9 mV, un 152% con respecto al segundo

mayor voltaje producido (frutos secos) y un 343% con respecto al menor voltaje producido (carne). Los resultados obtenidos con todos los sustratos, menos el barro, también muestran una correlación entre la concentración de glucosa en el sustrato y la producción de voltaje. Esta correlación se comprobó mediante el test de Spearman, y mediante el t-test se comprobó que los grupos de resultados correspondientes a los distintos sustratos no se debían al azar sino que eran significativamente distintos, estadísticamente hablando (Torres, 2015).

4.2. Marco Teórico

La bioelectrogénesis se define como la generación de energía eléctrica a partir de energía química proveniente de procesos biológicos generados por microorganismos, para esta conversión energética, existe una gran diversidad de microorganismos coadyuvantes en la actividad, los más utilizados en los procesos de generación de energía eléctrica son las llamadas “bacterias electrogénicas” que suelen encontrarse en ambientes anaerobios como sedimentos de lagos o ríos (Correa & Gordi, 2015). La obtención de esta energía se realiza a través de las celdas de combustible microbiano, los cuales son dispositivos electroquímicos de conversión de energía, en donde el hidrógeno y el oxígeno se combinan generando agua y electricidad. Una celda de combustible microbiano típicamente está compuesta por dos cámaras una anaeróbica y otra

aeróbica, en medio de las cuales se encuentra un separador (Barrera & Lozano, 2013).

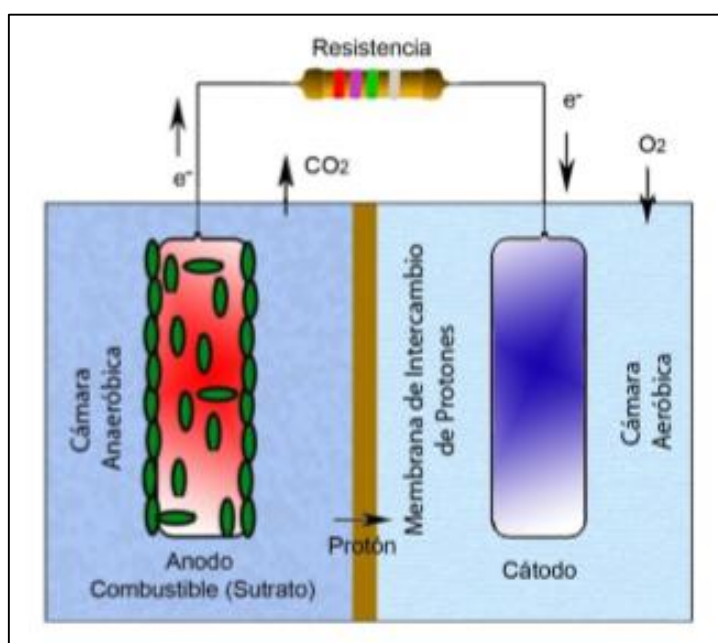


Figura 1. Detalles principales de una MFC de cámara doble.

Fuente: Barrera, F & Lozano, A. (2013).

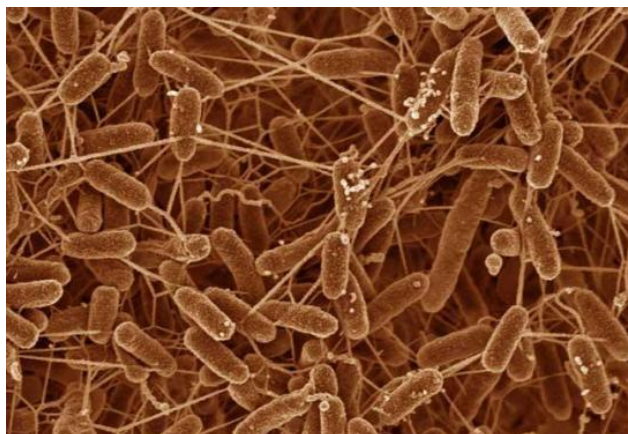


Figura 2. Bacterias eléctricas.

Fuente: <http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=136>

El agua residual para el funcionamiento de las celdas y según su procedencia puede clasificarse en industrial, doméstica o municipal (Beltran & Lora, 1990). En el caso del presente estudio en particular, es empleada el agua residual doméstica.

Además, los electrolitos son indispensables en el desempeño de una celda de combustible microbiano, en la cámara anaerobia se encuentra el ánodo, el cual recibe los electrodos derivados de la degradación de materia orgánica (Rabaey, 2003) y en la cámara aerobia se localiza el cátodo, en donde se da la reacción entre los protones y el oxígeno contenido en el aire para formar agua, es decir en

esta sección se recolecta el agua que se forma luego del proceso (Ibañes, & Hernández, 2010).

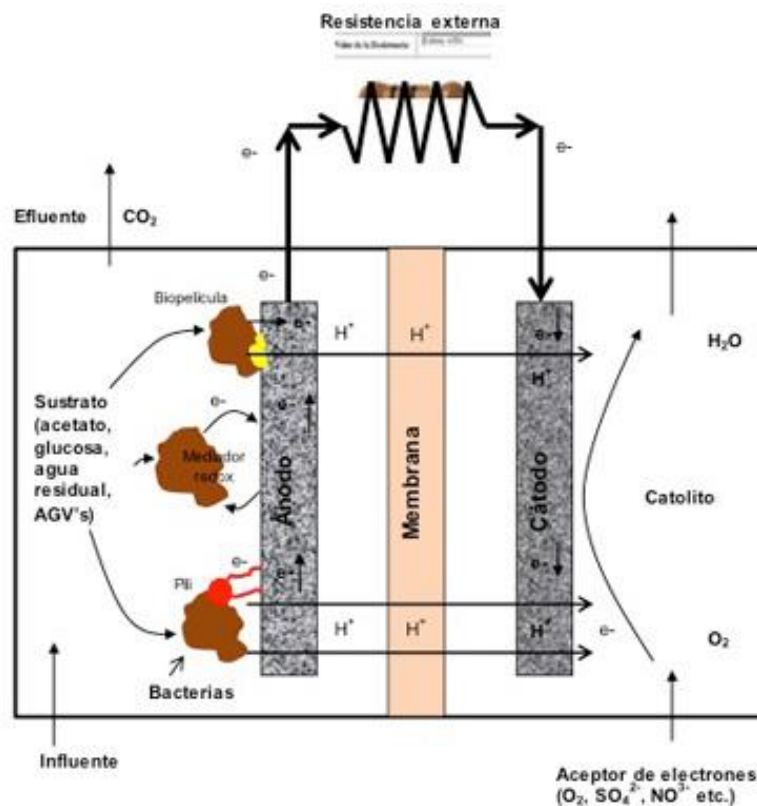


Figura 3. Esquema de una MFC convencional.

Fuente: <https://www.imta.gob.mx/generacion-de-energia-electrica-a-partir-del-tratamiento-de-aguas-residuales-por-medio-de-bioceldas>

Un electrolito es aquel material sólido o acuoso que permite aumentar la velocidad de la reacción entre cargas, es decir, actúa como un catalizador, por tanto los materiales en que se encuentren compuestos es indispensable para el

buen funcionamiento de la misma, entre estos elementos se tiene el carbón o grafito, como por ejemplo los ánodos de tela de carbón impermeabilizado no mojado “tipo A, E -TEK” y como cátodo la tela de carbón con humedad del 30% “Tipo B, E -TEK” (Cheng, Liu, & Logan; et al 2006).

En las MFC, se utilizan microorganismos para oxidar el combustible, la materia orgánica, y transferir los electrones a un electrodo (ánodo), que está conectado a un cátodo a través de un material conductor que contiene una resistencia. Las cámaras que albergan estos electrodos, la anódica (anaerobia) y la catódica (aerobia), están comunicadas por una membrana de intercambio catiónico que permite el paso de protones. De esta forma, los protones generados en la oxidación de la materia orgánica se combinan con oxígeno y con los electrones que llegan al cátodo para formar agua. (Pistonesi, Haure & D’Elmar, 2010).

Para la cámara anódica, se pueden utilizar cultivos de una sola especie microbiana, pero es preferible utilizar comunidades microbianas mixtas que pueden generar altos potenciales y al mismo tiempo ser más económicos y menos exigentes (Revelo, 2013).

Por otro lado, en la cámara catódica, se pueden utilizar cultivos de bacterias Gram negativas en su mayoría, o cultivos de algunas Gram positivas tales como *Micrococcus luteus*, *Bacillus subtilis* y *Staphylococcus carnosus*, que también hacen una transferencia directa de electrones, otras como *Acinetobacter calcoaceticus* que excretan compuestos activos redox para transferir electrones

al oxígeno catódico y las *Dechlorospirillum anomalous* WD que aceptan electrones del cátodo para reducir perclorato (Huang, Regan & Quan, 2011).

Con respecto al flujo, existen diferentes tipos manejados en una MFC, entre los cuales se encuentran el flujo discontinuo, semicontinuo y batch (Pistonesi, et al, 2010). En todos estos, se evidencia una similitud en su funcionamiento, el cual se basa en el tiempo de retención empleado, teniendo que este es uno de los parámetros más importantes en todo sistema de tratamiento de aguas residuales. Cuando la presencia de sólidos en suspensión es considerable, existe un tiempo de retención óptimo que permite una máxima remoción de los mismos (Pistonesi, et al, 2010).

El flujo tipo batch es el de mayor implementación en estos sistemas, cuando es utilizado en las MFC, se da una generación de energía similar al crecimiento de los microorganismos depositados en el mismo, en el que se lleva cabo un consumo total de la materia orgánica del agua residual utilizada en el montaje, y posteriormente un recambio de esta. El proceso es monitoreado a través de las caídas de potencial del sistema, el cual crece de forma exponencial luego de su alimentación y estabilización, para luego disminuir con el consumo total de la materia orgánica presente. En este caso son comunes tiempos de retención oscilantes entre 6 y 9 días con respecto a la caída de potencial (Venkata et al, 2007).

Para el funcionamiento del sistema con un flujo continuo, se requiere realizar un control en el caudal para obtener el tiempo de retención hidráulica deseado (HRT), según autores, el MFC debe funcionar durante más de 3 meses antes de su puesta en marcha, ello para su estabilización, con la finalidad de que la comunidad microbiana logre colonizar el ánodo (Gil, Escapa, Carracedo, Morán & Gómez, 2013). Teniendo que pueden ser empleados tiempos de retención de cuatro, siete y diez horas (Gil Et al.)

Por su parte el estudio del flujo semicontinuo para las MFC se realiza en tiempos de retención hidráulico (TRH) que no superen las 24 horas, ya que por ciertas consideraciones se afirma que mediante este sistema, son menos fluctuantes las caídas de potencial (Alzate, et al, 2009).

5. Diseño metodológico

Para el diseño metodológico del proyecto, se establecieron fases a seguir, ello con el propósito de alcanzar los objetivos trazados durando el desarrollo de la investigación.

Objetivos	Fases	Actividad
Diseñar modelo a escala piloto de una Celda de Combustible Microbiano	Recopilación de información	Efectuar una revisión bibliográfica.
	Diseño de Celda de Combustible Microbiano y puesta en marcha	Determinación del diagrama de flujo del sistema de tratamiento a emplear.
		Realización de un modelo económico, manejable y eficiente de una celda de combustible microbiano.
		Ejecución de plan operativo.
Describir el comportamiento eléctrico de la celda de combustible microbiano	Evaluación eléctrica del montaje	Medición de la diferencia de potencial y corriente eléctrica generada entre la cámara anaerobia y aerobia de la celda.
		Procesamiento de los datos obtenidos de las mediciones de

		diferencia de potencial y corriente eléctrica.
		Determinación de correlación entre las características fisicoquímicas del montaje y la diferencia de potencial obtenida.
Evaluar la eficiencia del montaje mediante la remoción de carga orgánica presente en el agua residual doméstica.	Evaluación de la eficiencia del montaje	Caracterizar el agua residual empleada en el montaje, con los siguientes análisis: DBO, DQO, pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto.
		Calculo del porcentaje de remoción.

Tabla 1. Diseño metodológico.

5.1. Tipo de Estudio

La investigación se encuentra ubicada en la categoría aplicada de tipo experimental, teniendo en cuenta que esta muestra un diseño de investigación en donde se utiliza la manipulación y las pruebas controladas para entender los procesos causales.

La técnica empleada para llevar a cabo esta investigación es la experimental, la cual se basa en la observación de fenómenos provocados en forma deliberada en condiciones controladas por el investigador.

5.2. Técnicas de Investigación

5.2.1. *Recolección de Información*

Primeramente se llevó a cabo una revisión documental soportada en la recolección de antecedentes de tipo magnético; revisando la literatura u otras investigaciones, para conocer los procedimientos empleados en cuanto a diseño y evaluación eléctrica del montaje experimental.

5.2.2. *Fase de Diseño y Puesta en Marcha*

Se diseñó la celda de combustible microbiano, basándose en la revisión de antecedentes bibliográficos, llevando a cabo pruebas para establecer el mejor electrodo, el tipo de flujo idóneo y la función de la membrana de intercambio protónico en el montaje, esto con el objetivo de optimizar los diferentes aspectos de las celdas de combustible microbiano (MFC).

El montaje constó de dos cámaras separadas por dos tubos, la primera de estas es anaerobia y la segunda aerobia, ello basándose en la investigación realizada por Revelo, Hurtado y Ruiz (Revelo, et al. 2013), quienes exponen que una MFC típicamente se encuentra formada por dos cámaras en medio de las cuales hay

un separador. Los materiales utilizados en el diseño a escala piloto se encuentran relacionados en la Tabla 2.

ITEM		CANTIDAD
EQUIPOS	Multímetro auto rango RMS (valor real) de alta precisión con interfaz USB, STEREN MUL-630	1
	Hp Omni 110 Pro Pentium Dual Core	1
	Fuente De Poder Atx-750 Watts 20-24 Pines	1
MATERIALES	Metro de tubo ½ presión 13,5-315 PSI Pavco	3
	Codo ½ 90*12 presión Pavco	5
	Conector universal ½ presión lisa Humboldt	4
	Válvula PVC ½ pulgadas lisa Humboldt	4
	Adaptador hembra ½ presión Pavco	7
	Adaptador macho ½ presión Pavco	7
	Gota mágica	2

ITEM		CANTIDAD
E S	Silicona transparente superflex 70 mL	1
	Soldadura PVC 1/64	1
	Metro platina de cobre	1
	Lija	2
	Manguera	1
	Faber Castell Pitt 2 grafito puro Caja	2
	Set De 10 Caimanes De 10cm	1
	Cable Multifilar negro metro	2
	Cable Multifilar rojo metro	2
	Motor Aireador 1 Salida 60 Litros/hr	2
	Piedra Difusora De Oxigeno ancha	2
	Tanque de 2.5 Litros con Tapa	2

Tabla 2. Materiales para elaboración de Celda de Combustible Microbiano.

En cuanto al volumen de cada una de las cámaras, este fue 2.27 litros y el funcionamiento se basó en una cámara anaerobia que contenía sustratos orgánicos, que al oxidarse por acción de los microorganismos generaban electrones, protones y CO₂ (Du et al., 2007). En cada una de las cámaras se colocó un electrodo, el ánodo en la cámara anaeróbica y el cátodo en la cámara aeróbica.

5.2.3. Evaluación Eléctrica del Montaje

Después de la puesta en marcha del montaje, se procedió a medir la diferencia de potencial eléctrica y la corriente eléctrica obtenida entre la cámara anaerobia y aerobia, mediante los datos registrados en un multímetro PROTECK 506 con interface a PC.

Posterior a ello, se analizó la correlación entre los resultados obtenidos de voltaje y las características fisicoquímicas del agua residual utilizada en el sistema, adicionalmente se estudia el comportamiento eléctrico del montaje en los últimos tres (3) meses de pruebas de laboratorio.

Para un mayor soporte de la evaluación eléctrica del sistema se llevaron a cabo comparaciones entre los resultados obtenidos en el presente proyecto con los obtenidos por otros autores, cuyas investigaciones guardan estrecha similitud con lo expuesto en el presente trabajo.

5.2.4. Análisis de Laboratorio

Se caracterizó el agua residual empleada en el montaje, antes y después de ingresar al sistema de tratamiento, midiendo los siguientes parámetros: DBO, DQO, pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto y temperatura, a través de los métodos analíticos descritos en la siguiente tabla, de acuerdo al standard methods:

Parámetro	Método Analítico
DBO ₅	SM 5210 B
DQO	SM 5220 D
pH	SM 4500-H+B, Método electrométrico
Conductividad	SM 2510 B, Método electrométrico
Oxígeno Disuelto	ASTM 888-12, Método electrométrico
Temperatura	SM 2550 B, Método electrométrico

Tabla 3. Métodos Analíticos Empleados en los Análisis Fisicoquímicos.

5.2.5. Evaluación de la Eficiencia del Montaje

Se analizaron los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio realizadas, esto con la finalidad de determinar la remoción de carga orgánica presente en el agua residual doméstica, estableciendo así el grado de eficiencia del proceso llevado a cabo en la celda de combustible microbiano en cuanto al tratamiento del agua servida.

6. Resultados y Análisis

6.1. Fase de Diseño y Puesta en Marcha

La puesta en marcha de la Celda de Combustible Microbiano se llevó a cabo el 26 de noviembre de 2014, para lograr desarrollar un modelo económico, eficiente y viable de una MFC, se realizan diferentes pruebas preliminares que permiten obtener un diseño eficaz del mismo.

6.1.1. Configuración de Diseño

Para el diseño de la MFC fue necesario evaluar el esquema básico del sistema, teniendo en cuenta el proceso interno de la celda, las dimensiones y materiales a utilizar.

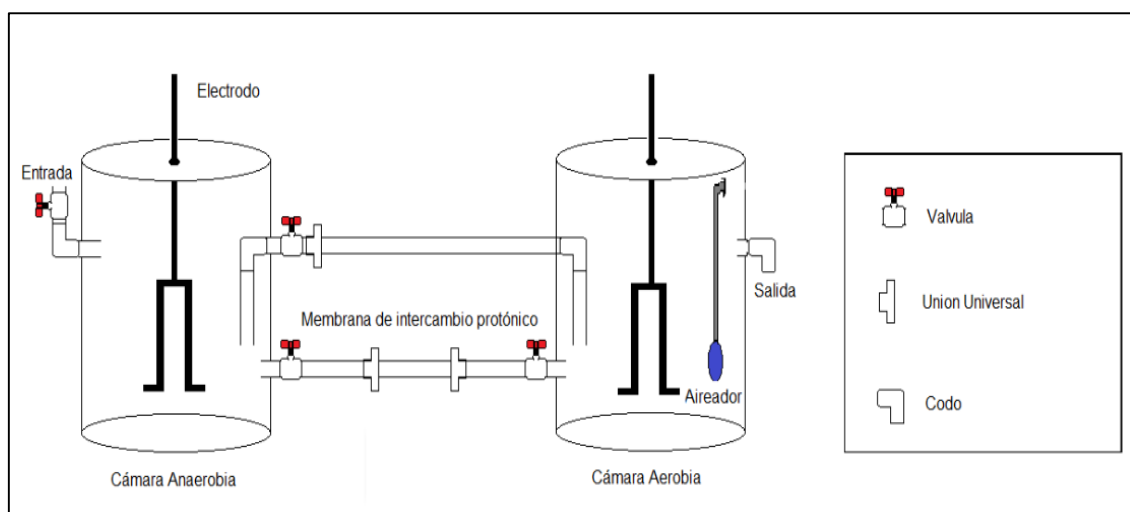


Figura 4. Esquema de Diseño de la Celda de Combustible Microbiano.

Fuente: Autores.

La celda de combustible microbiano fue elaborada a partir de recipientes plásticos, los cuales hacían las veces de las cámaras anaerobia y aerobia, estas se encontraban conectadas por una tubería a una distancia de 35.5 cm. La cámara anaerobia fue cerrada herméticamente con una única entrada de agua residual en la parte lateral superior izquierda, controlada por medio de una válvula para evitar interferencia del oxígeno del ambiente, mientras que, la cámara aerobia se le adaptó un sistema de aireación para garantizar las condiciones del medio.

La primera prueba se basó en cortar la comunicación entre ambas cámaras, con esto se logró establecer que, sin la existencia de una conexión entre las cámaras, no se presenta una transferencia de electrones a través de las mismas.

6.1.2. Electrodos

Los electrodos son un factor importante en el diseño de la celda, para efectos de esta investigación, se evaluaron diferentes materiales conductores como lo son: las barras de cobre, láminas de cobre y aluminio, en donde se alternaron los electrodos antes mencionadas en el ánodo y cátodo.

Prueba	Electrodos		Máximo voltaje obtenido
	Ánodo	Cátodo	
1	Barra de cobre	Barra de cobre	0.817 V
2	Aluminio	Cobre	0.341 V

3	Cobre	Aluminio	0.672 V
4	Lámina de cobre	Lámina de cobre	1.441 V

Tabla 4. Tipos de Electrodos Empleados en el Diseño de Celda de Combustible Microbiano.

De lo anterior es posible evidenciar el alto rendimiento de las láminas de cobre, por lo que estas son definidas como los electrodos óptimos en el sistema, debido a su estructura atómica y molecular que permiten una mayor conductividad eléctrica (Genescá, 2001).

Luego de haber determinado el material a utilizar, se analiza la forma de las placas, ello con el fin de garantizar que una gran cantidad de microorganismos tengan el espacio suficiente para adherirse a la placa, logrando la mayor eficiencia en el sistema, por tanto se establece un área total de 112.5 cm² para los electrodos.

6.1.3. Membrana de Intercambio Protónico

Durante las pruebas preliminares no se incluye la membrana de intercambio protónico, por lo que las cámara anaerobia y aerobia se encuentran conectadas de forma directa, pese a los resultados generados, se realizó una segunda prueba con la implementación de una membrana de intercambio protónico.

Mes de prueba	Uso de membrana de intercambio protónico		Máximo voltaje obtenido
	SI	NO	
Noviembre		x	0.519 V
Diciembre		x	0.817 V
Febrero		x	0.646 V
Marzo	x		1.122 V
Abril	x		1.228 V
Mayo	x		1.441 V

Tabla 5. Uso de Membrana de Intercambio Protónico en Celda de Combustible Microbiano.

De acuerdo a los resultados obtenidos se evidencia que la implementación de una membrana de intercambio protónico, mejora la obtención de la diferencia de potencial en el sistema en aproximadamente un 50%, por tanto, se estableció la membrana de intercambio protónico como uno de los factores más importantes para aumentar la eficiencia eléctrica del montaje.

6.1.4. Montaje del Diseño Experimental

El montaje consta de dos cámaras, en cada una de las se coloca un electrodo de cobre, el ánodo en la cámara anaeróbica y el cátodo en la cámara aeróbica, una vez los electrones se liberan en la cámara anódica, éstos son captados por el

ánodo y los protones migran hacia la cámara catódica a través de la membrana de intercambio protónico, donde se combinan con el oxígeno para reducirse a agua (Revelo Et al, 2013).

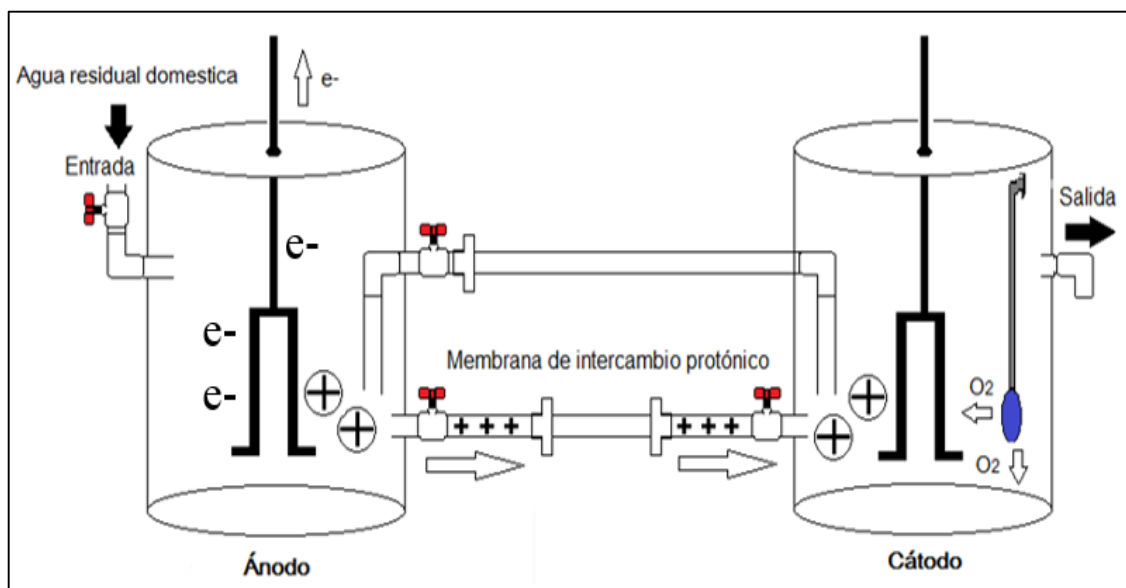


Figura 5. Funcionamiento de la Celda de Combustible Microbiano.

Fuente: Autores.

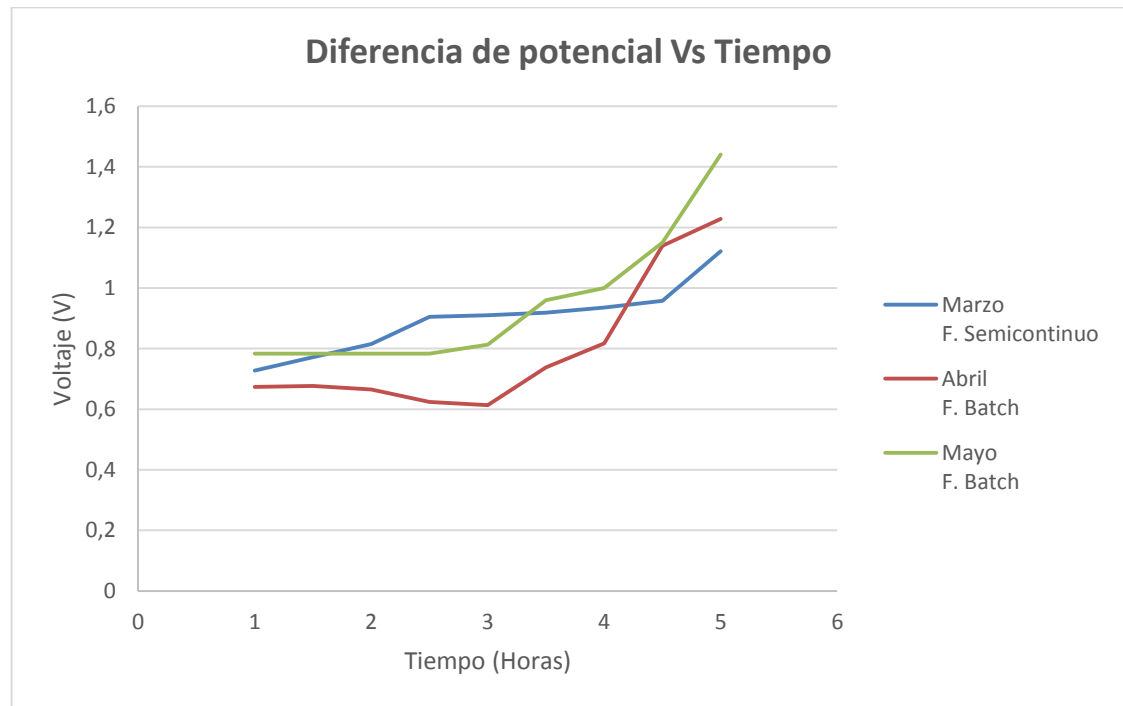
6.2. Evaluación Eléctrica del Montaje

En cuanto a la energía eléctrica generada, a continuación puede ser observado el comportamiento eléctrico de la celda durante un determinado periodo de tiempo, las mediciones fueron de la diferencia de potencial entre electrodos y la corriente eléctrica generada.

6.2.1. Diferencia de Potencial

Debido a la baja eficacia del sistema los primeros meses de prueba, para efectos de los análisis solo se evalúa la eficiencia eléctrica del montaje con los resultados obtenidos de la Celda de Combustible Microbiana óptima, es decir, aquella que emplea electrodos de láminas de cobre y membrana de intercambio protónico (sistema descrito en el montaje de diseño experimental).

Los meses evaluados de referencia son marzo, abril y mayo, para cada mes se analiza el comportamiento del valor máximo de voltaje registrado realizando mediciones cinco horas previas a la obtención de dicho voltaje generado, con una periodicidad de 30 minutos entre mediciones, se escoge este periodo puesto que es el más representativo de los resultados obtenidos.



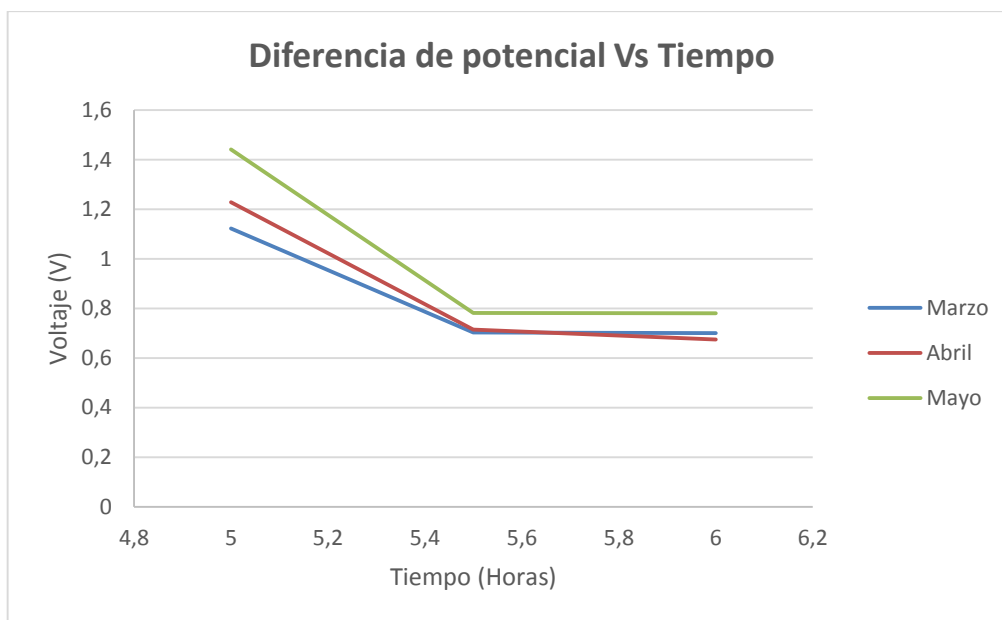
Gráfica 1. Diferencia de Potencial durante cinco horas previas a la obtención del máximo voltaje generado.

Fuente: Autores.

De acuerdo a la Gráfica 1, se puede inferir que el menor voltaje se obtuvo en el mes de marzo, seguido del mes de abril y por último el mes de mayo, con el mejor resultado generado de 1.44 V, de lo anterior se evidencia la mejora continua del sistema, puesto que luego de cada prueba se realizaba una modificación al mismo.

En los tres (3) meses evaluados el factor diferenciador fue el tipo de flujo, realizándose pruebas en el mes de marzo con un tipo de flujo semicontinuo y en

los meses de abril y mayo se empleó un flujo tipo batch, definiéndose este como el tipo de flujo a emplear en la celda.



Gráfica 2. Diferencia de Potencial durante una hora posterior a la obtención del máximo voltaje generado.

Fuente: Autores.

La Gráfica 2 permite analizar la estabilización del sistema, luego de registrarse el máximo valor obtenido en cada prueba se evidencia un descenso en la diferencia de potencial generada, hasta mantener un comportamiento semiconstante, con un voltaje promedio entre 0.675 y 0.782 V. Además, se observa que la mayor diferencia de voltaje se da en el mes de mayo y la menor en el mes de marzo,

esto depende del voltaje máximo de cada mes, es decir, a mayor voltaje generado mayor será la diferencia de este con el voltaje promedio.

Lo anterior se relaciona con el crecimiento microbiano de las bacterias presentes en el agua residual doméstica, teniendo en cuenta que los microorganismos cumplen cuatro fases diferentes, en donde se adaptan, crecen exponencialmente, posteriormente el crecimiento disminuye y como última fase estas se quedan sin nutrientes y mueren. El sistema implementado guarda relación con el tipo de flujo utilizado, puesto que se requiere de uno que permita llevar a cabo el ciclo de vida de los microorganismos.

Lo expuesto con anterioridad, permite establecer una posible relación entre el crecimiento microbiano y la obtención de voltaje, es decir, cuando los microorganismos se encuentran en la fase exponencial de su crecimiento, la diferencia de potencial obtenida es mayor, basándose en esto, se determina alimentar el sistema luego de cada máximo voltaje registrado, lo cual ocurriría aproximadamente cada 3 días.

Otro factor importante es la característica fisicoquímica del agua residual empleada, en el caso de la presente investigación, se trató agua residual doméstica, de la que se analizaron los siguientes parámetros: pH, conductividad, DBO, DQO, Oxígeno Disuelto (OD) y temperatura.

Se realiza una correlación de los resultados obtenidos de voltaje y las características del agua tratada, con el fin de establecer la relación existente entre estos factores influyentes en la Celda de Combustible Microbiano.

	DBO	DQO	Voltaje
DBO	1		
DQO	0,93067964	1	
Voltaje	0,89497256	0,66972591	1

Tabla 6. Correlación entre DBO, DQO y Voltaje.

Respecto a la Tabla 6, se puede analizar que existe una correlación positiva alta entre la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y el voltaje, con un porcentaje de correlación de 89%. En cuanto a la demanda química de oxígeno (DQO) se infiere que existe una correlación negativa media, con un porcentaje de correlación de 67%. De lo anterior se corrobora la relación existente entre la materia orgánica y la producción de diferencia de potencial, es decir, a mayor DBO, mayor voltaje, tal como lo expone Revelo en su investigación “*Celdas de combustible microbianas (ccms): un reto para la remoción de materia orgánica y la generación de energía eléctrica*” (Revelo, et al. 2013).

Luego de realizar el análisis de la materia orgánica presente en el agua residual con relación a la diferencia de potencial obtenido, se estima la correlación existente entre pH, conductividad, Oxígeno Disuelto (OD), temperatura y voltaje.

	pH	Conductivida d	OD	Temperatura	Voltaje
pH	1				
Conductivida d	0,99942 2	1			
OD	0,73875 8	0,715410186	1		
Temperatura	-0,99455	-0,990434069	- 0,8049786 4	1	
Voltaje	-0,21543	-0,248517836	0,4989922 7	0,11248275 7	1

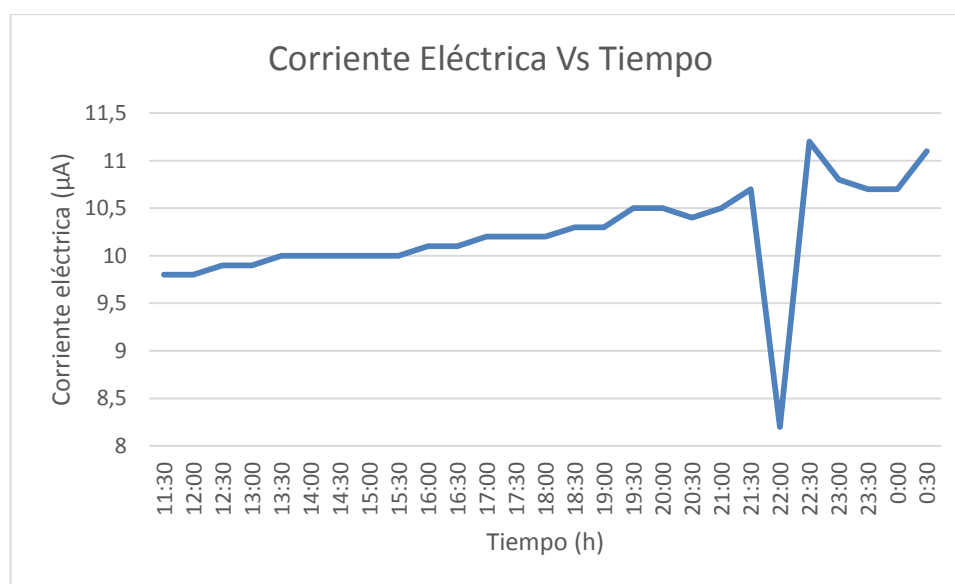
Tabla 7. Correlación entre pH, conductividad, Oxígeno Disuelto (OD), temperatura y voltaje generado.

La correlación encontrada entre el pH, conductividad, oxígeno disuelto y temperatura con relación al voltaje es muy débil, por lo que se infiere que los

parámetros antes mencionados no poseen mayor incidencia con la diferencia de potencial generada.

6.2.2. Corriente Eléctrica

La corriente eléctrica refleja un comportamiento variable, su aumento se altera de acuerdo a la estabilización de la celda, pudiendo observar que la corriente máxima generada fue de 11.7 μA con una resistencia de 200 Ohm, a ver Grafica 3.



Gráfica 3. Corriente eléctrica generada durante un determinado periodo de tiempo, empleando Membrana de Intercambio Protónico – Evaluación de máxima corriente.

Fuente: Autores.

Se observa un comportamiento de la corriente eléctrica inestable en un periodo de tiempo, una decadencia representativa y luego un alza significativa, continuando de la misma manera durante un lapso de tiempo, debido a la variabilidad de los datos registrados se concluye realizar la evaluación eléctrica de acuerdo a la diferencia de potencial.

De acuerdo a la revisión bibliográfica del proyecto, fue posible establecer que la evaluación eléctrica de las celdas de combustible microbiano son realizadas comúnmente con respecto a la diferencia de potencial obtenida en el montaje, por lo que no fue posible establecer una relación o comparación de la corriente máxima generada con los resultados de antecedentes del proyecto.

Para un mayor soporte de los resultados, se realiza una comparación con los antecedentes del proyecto, con aquellas investigaciones cuyo montaje experimental guarde similitud con el implementado en el presente trabajo de grado.

Autor	Tipo de agua	Volumen	Electrodo	Voltaje
Álzate, L., Fuentes, C., Álvarez, A., P.J, S. (2008)	Sintética	700 mL	Papel carbón	1.05
Álzate, L., González, K., Pedraza, I., García, O., Domínguez, J., Vázquez, J., TZEC, M & Canto, B. (2010)	Sintética	600 mL	carbono	1.219 en ambas CCM
Rabaey, K., Boon, N., Siciliano, S., Verhaege, M & Verstraete, W. (2004)	Sintética	480 mL	Grafitos	0.602
Rismani, H., Christy, A., Carver, S., Yu, Z., Dehority, B & Tuovinen, O. (2011)	Sintética	150 mL	Placas de grafito	0.631
Bradleyr, R., Henderso, N., Pietron, J., Little, B., Biffing, J & Jones, J. (2006)	Sintética	2.4 cm ³	Grafito	0.75

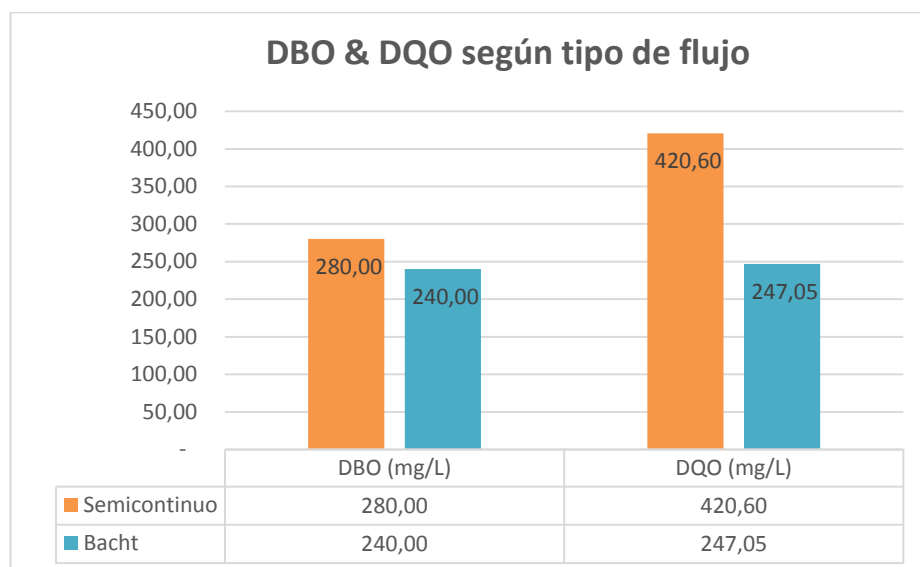
Tabla 8. Comparación de antecedentes del proyecto.

Debido a que las celdas de combustibles microbianos son sistemas investigados hace pocos años, la variabilidad entre un montaje y otro es representativa, por lo que se tendrá en cuenta solo aquellos sistemas que fueron diseños con dos cámaras (anódica y catódica) y aquellos que registran los voltajes superiores.

De este análisis es posible inferir que la implementación de electrodos de cobre permitió resultados satisfactorios y que el tipo de agua utilizada tiene estrecha relación con la diferencia de potencial a obtener en la MFC, debido a las características fisicoquímicas del agua.

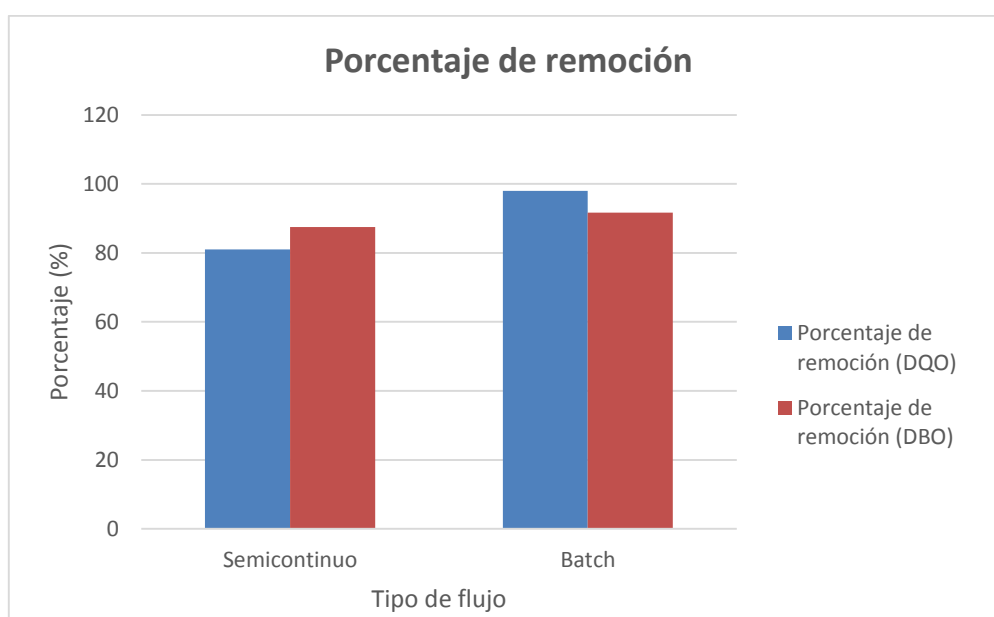
6.3. Evaluación de la Eficiencia del Montaje

El diseño de la Celda de Combustible microbiano se trabajó bajo dos tipos de flujo, semicontinuo y batch, evidenciando que estos montajes aumentan su eficiencia con el ultimo flujo mencionado, teniendo en cuenta que este permite un adecuado desarrollo del ciclo de vida de los microorganismos presentes en la misma, puesto que con el flujo tipo batch no se genera un lavado de la celda como ocurre con el flujo semicontinuo.



Gráfica 4. Comparación entre el Tipo de Flujo, la Demanda Química de Oxígeno y la Demanda Biológica de Oxígeno en la MFC.

Fuente: Autores.



Gráfica 5. Porcentaje de remoción de acuerdo a tipo de flujo.

Fuente: Autores.

Es observable que para un flujo tipo batch, con una diferencia de potencial máxima generada de 1.44 V, se obtuvo una eficiencia de remoción de DQO de 97.93% y de DBO de 91,66%, lo cual puede ser atribuido a las dos fases presentadas en el sistema, en donde la primera, es decir la cámara anaerobia, actúa como un tratamiento primario y la segunda (cámara aerobia), como un tratamiento secundario o pulimento.

Se considera relevante afirmar que el tratamiento anaerobio de aguas residuales es eficiente en la remoción de materia orgánica, pero necesita un post-tratamiento que le permita cumplir con las concentraciones establecidas por la normativa, además de la eliminación de sólidos suspendidos y nutrientes, lo cual es conseguido con el tratamiento aeróbico (Rodríguez, 2013). La importancia de este diseño radica en que se puede contar con los beneficios de ambos tratamientos, en un solo montaje.

7. Conclusión

Los resultados obtenidos durante la presente investigación permiten determinar la importancia del diseño, el tipo de flujo también juega un papel vital en el desarrollo de experimentos de este tipo, siendo este un factor determinante en cuanto a la continuidad del voltaje obtenido.

Se establece como electrodo las placas de cobre, unos de los metales con mayor conductividad eléctrica, lo cual es demostrado gracias a la eficiencia que muestra el sistema durante su uso, además del tipo de material también se tiene en cuenta la forma del electrodo; fue posible determinar que entre mayor área superficial mayor adherencia de microorganismos habrá en el electrodo, lo cual permite aumentar la energía eléctrica generada.

Luego de realizar la evaluación eléctrica del montaje, se infiere en cuanto a los datos obtenidos de voltaje, que el sistema tiene un tiempo de estabilización aproximado de un (1) día, hasta llegar a ± 0.788 V, alcanzando la mayor diferencia de potencial en tres (3) días con un flujo tipo batch.

De acuerdo al tipo de agua tratada, se concluye que es posible la generación de energía eléctrica mediante agua residual domestica implementado una celda de combustible microbiano, lo cual determina que el tipo de agua evaluada es apta para el funcionamiento del sistema. Las características fisicoquímicas del agua

objeto de estudio permiten inferir que a mayor carga orgánica mayor es la energía eléctrica obtenida.

Se demostró la eficiencia del montaje mediante el cálculo de la eficiencia de remoción (DQO), la cual fue satisfactoria con un valor entre 80 y 97%, por lo que las celdas de combustible microbiano no solo ayudan a la generación de energía eléctrica, sino que también logran el tratamiento de agua residual, perfilando ser uno de los sistemas autosuficientes de mayor impacto en el campo investigativo.

8. Recomendaciones

Se recomienda para futuros estudios enfatizar en el diseño experimental del montaje, específicamente en las dimensiones del mismo, ya que, gracias a las pruebas realizadas durante la fase preliminar del proyecto, fue posible establecer este factor como uno de los más importantes e influyentes en los resultados esperados.

Además de lo anterior, se propone llevar a cabo un estudio profundo de la parte microbiológica del sistema, puesto que este es el pilar de las celdas de combustible microbiano, la inoculación de diferentes microorganismos puede mejorar y optimizar el sistema, proporcionando así una mayor generación de energía.

En cuanto al tipo de flujo y el tipo de agua tratada, se aconseja una disponibilidad completa del agua residual utilizada para alimentar el sistema, debido a que este es uno de los factores más limitantes en la ejecución de prototipos de MFC, en donde la continuidad en el suministro de agua es de gran importancia para el correcto funcionamiento de la celdas de combustible microbiano.

Referencias

- Alfaro, J. D. B. (2011). CONVIVENCIA LIMPIA EN CASA: UN PROGRAMA AMBIENTAL QUE VA MÁS ALLÁ DEL RECICLAJE. *InterSedes*, 9(16).
- Alzate, L., Gonzalez, K., Peraza, I., Garcias, O., Dominguez, J., Vasquez, J., tzec, M., & Canto, B. 2009. Evaluación del desempeño e identificación de exoelectrógenos en dos tipos de celdas de combustible microbianas con diferente configuración en el ánodo.
- Asprilla, N. I. S. (2015). Estudio de la bioelectricidad y su potencial aplicación como biotecnología ambiental emergente en el contexto del departamento del Chocó. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (12), 457-462.
- Barrera, F & Lozano, A. (2013) Hidrógeno. Pilas de combustible de tipo PEM. Información tecnológica. Recuperado en 06 de abril de 2015, de <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.energia2012.es%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2FHidr%25C3%25B3geno.%2520Pilas%2520de%2520combustible%2520de%2520tipo%2520PEM.pdf&ei=6l4jVcqSBcaKsAXBm4GwDw&usg=AFQjCNHWUp03Oon7hRstixxgUAmUCzAvcA&sig2=z3A48h8kUleMpAmAsFskZw&bvm=bv.89947451,d.eXY>

Carlos Pistonesi, J. L. (2010). Diferentes alternativas a los procesos de los tratamientos de aguas residuales para obtener energía ecológicamente limpia. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional.

Correa, V., & Mas Gordi, J. (2015). Microorganismos bioelectrogénicos

Chaudhuri, S. &. (2003). Electricity generation by direct oxidation of glucose in mediatorless microbial fuel cells.

Cheng, S., Hong, L & Bruce, L. (2006). Increased performance of single-chamber microbial fuel cells using an improved cathode structure. *Electrochemistry Communications* 8, 489-494.

Cheng, S., Liu, H., & Logan, B. E. (2006). Increased power generation in a continuous flow MFC with advective flow through the porous anode and reduced electrode spacing. *Environmental science & technology*, 40(7), 2426-2432.

Choi, Y. K. (2002). Dynamic Behaviors of Redox Mediators within the Hydrophobic Layers as an Important Factor for Effective Microbial Fuel Cell Operation.

Departamento Nacional de Planeación. DANE. En línea. Disponible en: <<http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/series-de-poblacion>> Citado el 10 de Abril de 2016.

- Du, Z., H. Li y T. Gu, A state of the art review on microbial fuel cells: A promising technology for wastewater treatment and bioenergy, *Biotechnology Advances*: 25(5), 464-482 (2007).
- Gaviria, L. A., Albarran, C. F., Gallegos, A. Á., & Sebastian, P. J. (2008). Generación de electricidad a partir de una celda de combustible microbiana tipo PEM. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 33(7), 503-509.
- Genescá, F. E. F. L. J., & Lóngueras, C. D. D. B. (2001). Construcción y evaluación de electrodos de medición de potenciales de óxido-reducción para la evaluación indirecta de las condiciones de aerobiosis en sistemas que simulan humedales artificiales.
- Gil-Carrera, L., Escapa, A., Carracedo, B., Morán, A., & Gómez, X. (2013). Performance of a semi-pilot tubular microbial electrolysis cell (MEC) under several hydraulic retention times and applied voltages. *Bioresource technology*, 146, 63-69.
- Huang, L., Regan, J., Quan, X. (2011). Electron transfer mechanism, new applications, and performance of biocathode microbial fuel cells. *Bioresource Technology*. 102(1). 346-323.
- Hyun, D. &. (2002). Improved Fuel Cell and Electrode Designs for Producing Electricity from Microbial Degradation.

- Ibáñez, R., & Hernández, C.F. (2010). Tratamiento de aguas residuales y generación simultánea de energía eléctrica mediante celdas de combustible microbianas. Universidad Nacional De Colombia
- Lefebvre, O., Uzabiaga, A., Shen, Y. J., Tan, Z., Cheng, Y. P., Liu, W., & Ng, H. Y. (2011). Conception and optimization of a membrane electrode assembly microbial fuel cell (MEA-MFC) for treatment of domestic wastewater. *Water Science & Technology*, 64(7).
- National Geographic Society. (2007) Energía hidroeléctrica. Información tecnológica. Recuperado en 06 de abril de 2015, de <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/calentamiento-global/hydropower-profile>
- Mejía, A. A. R., Vásquez, J. A., & González, A. L. (2012). Bacterias, fuente de energía para el futuro. *Tecnura*, 16(32), 117-142.
- Min, B., Kim, J., Oh, S., Regan, J. M., & Logan, B. E. (2005). Electricity generation from swine wastewater using microbial fuel cells. *Water research*, 39(20), 4961-4968.
- Pistonesi, C., Haure, J., D'Elmar, R. (2010). Energía a partir de las aguas residuales. Ed. Universidad Tecnológica Nacional. pág 8.

- Rabaey, K., Boon, N., Siciliano, S. D., Verhaege, M., & Verstraete, W. (2004). Biofuel cells select for microbial consortia that self-mediate electron transfer. *Applied and environmental microbiology*, 70(9), 5373-5382.
- Rabaey K, Lissens G, Siliciano S, Verstraete W (2003). A microbial fuel cell capable of converting glucose to electricity at high rate and efficiency. *Biotechnol. Lett.* 25: 1531-1535.
- Rae, J., Min, B & Logan, B. (2005). Evaluation of procedures to acclimate a microbial fuel cell for electricity production.
- Ramalho, R. S., Beltrán, D. J., & de Lora, F. (1990). Tratamiento de aguas residuales. *Reverté*.
- Revelo, D., Hurtado, N & Ruiz, J. (2013). Celdas de combustible microbianas (ccms): un reto para la remoción de materia orgánica y la generación de energía eléctrica. *Información tecnológica*, 24(6), 17-28. Recuperado en 06 de abril de 2015, de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642013000600004&lng=es&tlng=es. 10.4067/S0718-07642013000600004.
- Revelo, D. M., Hurtado, N. H., Ruiz, J. O., & López, S. (2015). Uso de Microorganismos Nativos en la Remoción Simultánea de Materia Orgánica

y Cr (VI) en una Celda de Combustible Microbiana de Biocátodo (CCM).
Información tecnológica, 26(6), 77-88.

Rismani-Yazdi, H., Christy, A. D., Carver, S. M., Yu, Z., Dehority, B. A., & Tuovinen, O. H. (2011). Effect of external resistance on bacterial diversity and metabolism in cellulose-fed microbial fuel cells. *Bioresource technology*, 102(1), 278-283.

Rodriguez A. (2013), TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES.
En línea. Disponible en: <
<http://www.ingenieroambiental.com/4014/tratamiento545.pdf> > Citado el
16 de Abril de 2016.

Shimoyama, T., Komukai, S., Yamazawa, A., Ueno, Y., Logan, B & Watanabe, K.(2008). Electricity generation from model organic wastewater in a cassette-electrode microbial fuel cell

Torres, C. G. (2015). Uso de desechos orgánicos urbanos para la producción energética mediante una celda de combustible microbiana de *Escherichia coli* (generado Abril 2015). *MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, (19), 13.

Venkata Mohan, S., Veer Raghavulu, S., Srikanth, S., & Sarma, P. N. (2007). Bioelectricity production by mediatorless microbial fuel cell under

acidophilic condition using wastewater as substrate: Influence of substrate loading rate. *Current Science* (00113891), 92(12), 1720-1726.

Wang, X., Feng, Y. J., & Lee, H. (2008). Electricity production from beer brewery wastewater using single chamber microbial fuel cell. *Water Science and Technology*, 57(7), 1117-1122.

Sacco, N., Bonetto, M & Corton, E. (2015). Generación de Electricidad en una Celda de Combustible Microbiana Mediada Utilizando Micro-ánodos Descartables. *Water Science and Technology*.

Anexos

Anexo 1. Registro de Datos de Diferencia de Potencial Generada.

Num:	Time:	Value:
114.	17:02:42	0.839 V
115.	17:32:41	0.839 V
116.	18:02:41	0.840 V
117.	18:32:41	0.840 V
118.	19:02:42	0.840 V
119.	19:32:42	0.840 V
120.	20:02:41	0.840 V
121.	20:32:42	0.839 V
122.	21:02:42	0.839 V
123.	21:32:42	0.839 V
124.	22:02:42	0.838 V
125.	22:32:42	0.838 V
126.	23:02:43	0.838 V
127.	23:32:42	0.837 V
128.	00:00:02	0.837 V
129.	00:30:02	0.837 V
130.	01:00:02	0.837 V
131.	01:30:02	0.837 V
132.	02:00:02	0.836 V
133.	02:30:02	0.836 V
134.	03:00:02	0.835 V
135.	03:30:02	0.835 V
136.	04:00:02	0.835 V
137.	04:30:02	0.835 V
138.	05:00:02	0.834 V
139.	05:30:02	0.834 V
140.	06:00:02	0.834 V

Num:	Time:	Value:
81.	01:30:01	0.779 V
82.	02:00:02	0.779 V
83.	02:30:02	0.779 V
84.	03:00:01	0.779 V
85.	03:30:01	0.779 V
86.	04:00:02	0.780 V
87.	04:30:02	0.780 V
88.	05:00:01	0.780 V
89.	05:30:02	0.780 V
90.	06:00:02	0.780 V
91.	06:30:01	0.780 V
92.	07:00:02	0.781 V
93.	07:30:02	0.781 V
94.	08:00:02	0.781 V
95.	08:30:02	0.781 V
96.	09:00:02	0.781 V
97.	09:30:02	0.782 V
98.	10:00:02	0.782 V
99.	10:30:02	0.783 V
100.	11:00:02	0.784 V
101.	11:30:02	0.784 V
102.	12:00:02	0.784 V
103.	12:30:02	0.784 V
104.	13:00:02	0.813 V
105.	13:30:02	0.960 V
106.	14:00:02	1.000 V
107.	14:30:02	1.150 V

108.	15:00:02	1.441 V
109.	17:17:07	0.782 V
110.	17:17:41	0.781 V

Num:	Time:	Value:
65.	17:13:06	0.702 V
66.	17:43:06	0.702 V
67.	18:13:07	0.701 V
68.	18:43:07	0.701 V
69.	19:13:06	0.701 V
70.	19:43:07	0.700 V
71.	20:13:07	0.698 V
72.	20:43:07	0.698 V
73.	21:13:07	0.697 V
74.	21:43:07	0.697 V
75.	22:13:07	0.696 V
76.	22:43:07	0.696 V
77.	23:13:07	0.695 V
78.	23:43:07	0.695 V
79.	00:00:02	0.695 V
80.	00:30:01	0.694 V
81.	01:00:01	0.694 V
82.	01:30:02	0.694 V
83.	02:00:02	0.694 V
84.	02:30:01	0.694 V
85.	03:00:01	0.694 V
86.	03:30:02	0.694 V
87.	04:00:02	0.694 V
88.	04:30:01	0.694 V
89.	05:00:02	0.694 V
90.	05:30:02	0.695 V
91.	06:00:02	0.695 V

4753.	08:48:53	0.829 V	DC
4754.	08:49:23	0.830 V	DC
4755.	08:49:53	0.831 V	DC
4756.	08:50:23	0.832 V	DC
4757.	08:50:53	0.833 V	DC
4758.	08:51:23	0.835 V	DC
4759.	08:51:53	0.838 V	DC
4760.	08:52:23	0.841 V	DC
4761.	08:52:53	0.847 V	DC
4762.	08:53:23	0.852 V	DC
4763.	08:53:53	0.859 V	DC
4764.	08:54:23	0.867 V	DC
4765.	08:54:53	0.880 V	DC
4766.	08:55:23	0.902 V	DC
4767.	08:55:54	0.933 V	DC
4768.	08:56:24	1.011 V	DC
4769.	08:56:54	1.113 V	DC
4770.	08:57:24	1.250 V	DC
4771.	08:57:54	1.307 V	DC
4772.	08:58:24	1.326 V	DC
4773.	08:58:54	1.335 V	DC
4774.	08:59:24	1.339 V	DC
4775.	08:59:54	1.344 V	DC
4776.	09:00:24	1.346 V	DC
4777.	09:00:54	1.347 V	DC
4778.	09:01:24	1.349 V	DC
4779.	09:01:54	1.350 V	DC

Num:	Time:	Value:
78.	23:54:43	0.671 V
79.	00:00:01	0.671 V
80.	00:30:02	0.671 V
81.	01:00:01	0.669 V
82.	01:30:01	0.668 V
83.	02:00:02	0.669 V
84.	02:30:02	0.668 V
85.	03:00:01	0.668 V
86.	03:30:02	0.666 V
87.	04:00:02	0.665 V
88.	04:30:02	0.664 V
89.	05:00:01	0.664 V
90.	05:30:02	0.668 V
91.	06:00:02	0.670 V
92.	06:30:01	0.668 V
93.	07:00:02	0.671 V
94.	07:30:02	0.671 V
95.	08:00:02	0.671 V
96.	08:30:02	0.672 V
97.	09:00:02	0.674 V
98.	09:30:02	0.677 V
99.	10:00:02	0.665 V
100.	10:30:02	0.624 V
101.	11:00:02	0.613 V
102.	11:30:02	0.738 V
103.	12:00:02	0.817 V
104.	12:30:02	1.139 V

27.	22:30:19	0.715 V
28.	23:00:19	0.715 V
29.	23:30:19	0.714 V
30.	00:00:01	0.715 V
31.	00:30:01	0.716 V
32.	01:00:02	0.716 V
33.	01:30:01	0.715 V
34.	02:00:01	0.715 V
35.	02:30:02	0.715 V
36.	03:00:01	0.715 V
37.	03:30:01	0.715 V
38.	04:00:02	0.715 V
39.	04:30:02	0.715 V
40.	05:00:01	0.714 V
41.	05:30:02	0.714 V
42.	06:00:02	0.714 V
43.	06:30:01	0.713 V
44.	07:00:02	0.712 V
45.	07:30:02	0.712 V
46.	08:00:02	0.714 V
47.	08:30:02	1.037 V
48.	09:28:14	0.706 V
49.	09:58:10	0.675 V

Anexo 2. Registro de Datos de Corriente Generada.

Num:	Time:	Value:
55.	17:00:02	007.6 μ A
56.	17:30:02	007.6 μ A
57.	18:00:02	007.6 μ A
58.	18:30:02	007.5 μ A
59.	19:00:02	007.6 μ A
60.	19:30:02	007.6 μ A
61.	20:00:02	007.7 μ A
62.	20:30:02	007.8 μ A
63.	21:00:02	007.8 μ A
64.	21:30:02	007.8 μ A
65.	22:00:02	007.9 μ A
66.	22:30:02	007.9 μ A
67.	23:00:02	007.9 μ A
68.	23:30:03	008.0 μ A
69.	00:00:02	008.1 μ A
70.	00:30:02	008.1 μ A
71.	01:00:02	008.2 μ A
72.	01:30:02	008.2 μ A
73.	02:00:02	008.3 μ A
74.	02:30:02	008.3 μ A
75.	03:00:01	008.4 μ A
76.	03:30:01	008.4 μ A
77.	04:00:01	008.5 μ A
78.	04:30:01	008.5 μ A
79.	05:00:01	008.5 μ A
80.	05:30:02	008.6 μ A
81.	06:00:02	008.6 μ A

Num:	Time:	Value:
143.	11:30:02	009.8 uA
144.	12:00:02	009.8 uA
145.	12:30:02	009.9 uA
146.	13:00:02	009.9 uA
147.	13:30:02	010.0 uA
148.	14:00:02	010.0 uA
149.	14:30:02	010.0 uA
150.	15:00:02	010.0 uA
151.	15:30:02	010.0 uA
152.	16:00:02	010.1 uA
153.	16:30:02	010.1 uA
154.	17:00:02	010.2 uA
155.	17:30:02	010.2 uA
156.	18:00:03	010.2 uA
157.	18:30:03	010.3 uA
158.	19:00:02	010.3 uA
159.	19:30:03	010.5 uA
160.	20:00:03	010.5 uA
161.	20:30:02	010.4 uA
162.	21:00:02	010.5 uA
163.	21:30:02	010.7 uA
164.	22:00:02	008.2 uA
165.	22:30:02	011.2 uA
166.	23:00:02	010.8 uA
167.	23:30:02	010.7 uA
168.	00:00:01	010.7 uA
169.	00:30:02	011.1 uA

Num:	Time:	Value:
170.	01:00:02	010.8 uA
171.	01:30:02	000.0 uA
172.	02:00:02	000.0 uA
173.	02:30:02	011.7 uA
174.	03:00:02	011.2 uA
175.	03:30:02	011.1 uA
176.	04:00:02	011.0 uA
177.	04:30:02	000.0 uA
178.	05:00:02	011.0 uA
179.	05:30:02	010.9 uA
180.	06:00:01	010.8 uA
181.	06:30:02	010.7 uA
182.	07:00:02	010.4 uA
183.	07:30:02	010.3 uA

Num:	Time:	Value:
116.	22:23:34	009.0 uA
117.	22:53:34	009.0 uA
118.	23:23:34	009.0 uA
119.	23:53:34	009.0 uA
120.	00:00:02	009.0 uA
121.	00:30:02	009.0 uA
122.	01:00:02	009.0 uA
123.	01:30:01	009.0 uA
124.	02:00:02	009.1 uA
125.	02:30:01	009.1 uA
126.	03:00:01	009.2 uA
127.	03:30:01	009.2 uA
128.	04:00:01	009.3 uA
129.	04:30:01	009.3 uA
130.	05:00:01	009.3 uA
131.	05:30:01	009.4 uA
132.	06:00:02	009.4 uA
133.	06:30:02	009.4 uA
134.	07:00:02	009.5 uA
135.	07:30:02	009.5 uA
136.	08:00:02	009.6 uA
137.	08:30:02	009.6 uA
138.	09:00:02	009.7 uA
139.	09:30:02	009.7 uA
140.	10:00:02	009.7 uA
141.	10:30:02	009.7 uA
142.	11:00:02	009.7 uA

Anexo 3. Caracterización de afluente

Parámetro	Unidades	Meses		
		Marzo	Abril	Mayo
DBO	<i>mg/L</i>	220	240	247
DQO	<i>mg/L</i>	367,25	220,6	240
pH	<i>Unidades de pH</i>	7,14	7,8	7,12
Conductividad	<i>μs</i>	0,503	0,782	0,483
OD	<i>mg/L</i>	0,15	0,87	0,63
Temperatura	°C	26,3	24	26,1

Anexo 4. Cálculos de Porcentaje de Remoción de DBO.

$$E_{Remoción\ DBO} = \frac{DBO_i - DBO_f}{DBO_i} * 100$$

$$E_{Remoción\ DBO\ Semicontinuo} = \frac{280\ mg/L - 35\ mg/L}{280\ mg/L} * 100$$

$$E_{Remoción\ DBO\ Semicontinuo} = 87.5\ mg/L$$

$$E_{Remoción\ DBO\ Bacht} = \frac{240\ mg/L - 20\ mg/L}{240\ mg/L} * 100$$

$$E_{Remoción\ DBO\ Bacht} = 91.66\ mg/L$$

Anexo 5. Cálculos de Porcentaje de Remoción de DQO

$$E_{Remoción\ DQO} = \frac{DQO_i - DQO_f}{DQO_i} * 100$$

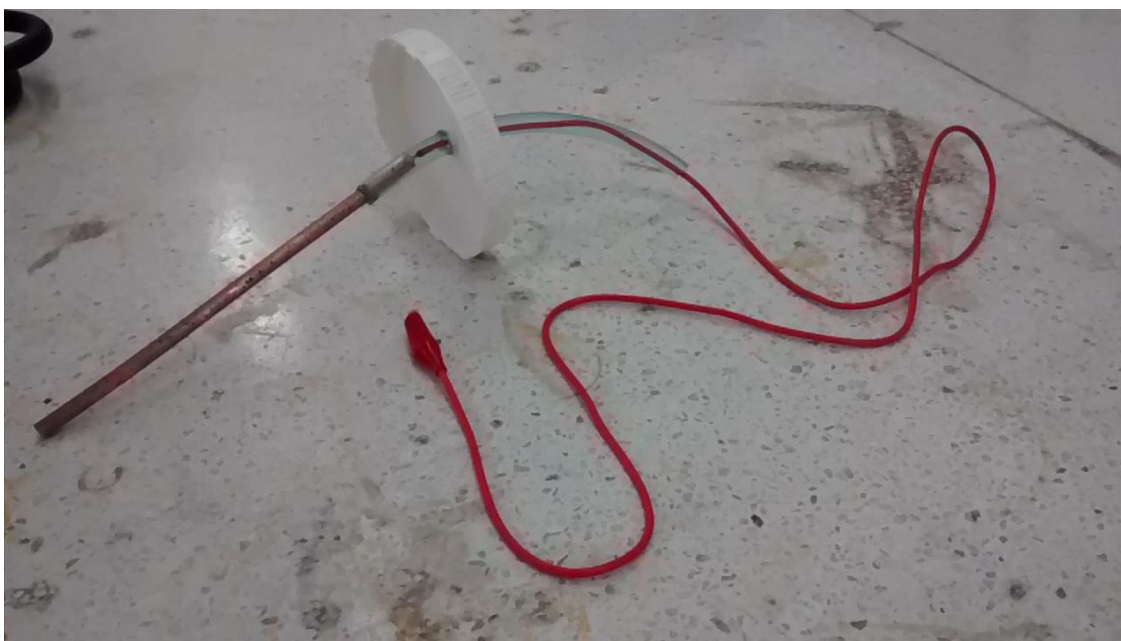
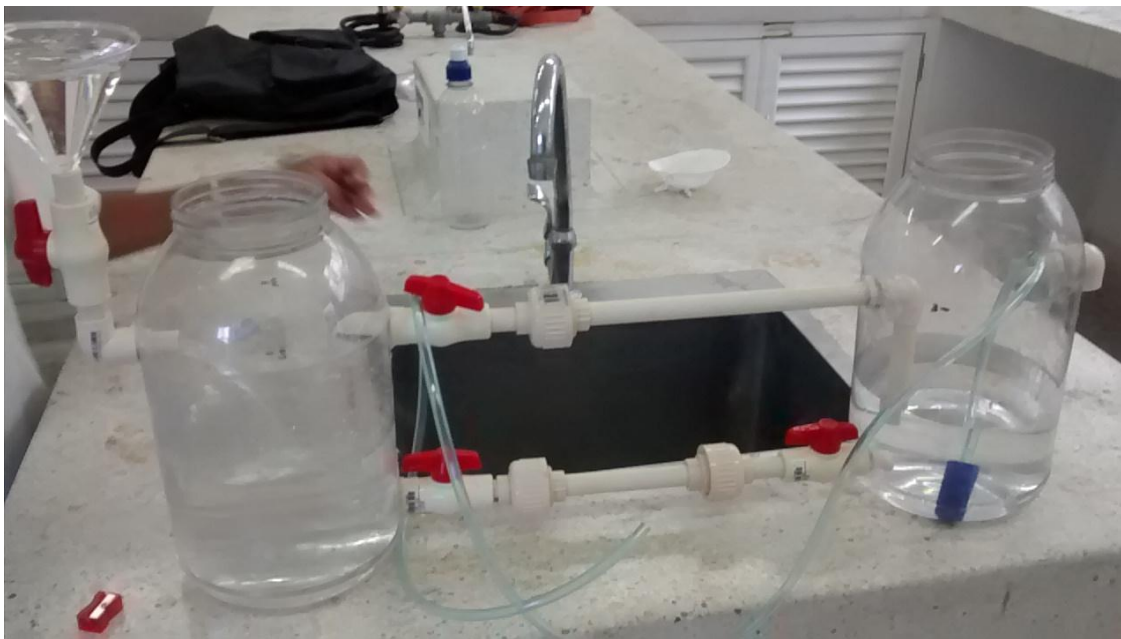
$$E_{Remoción\ DQO\ Semicontinuo} = \frac{420.6\ mg/L - 79.96\ mg/L}{420.6\ mg/L} * 100$$

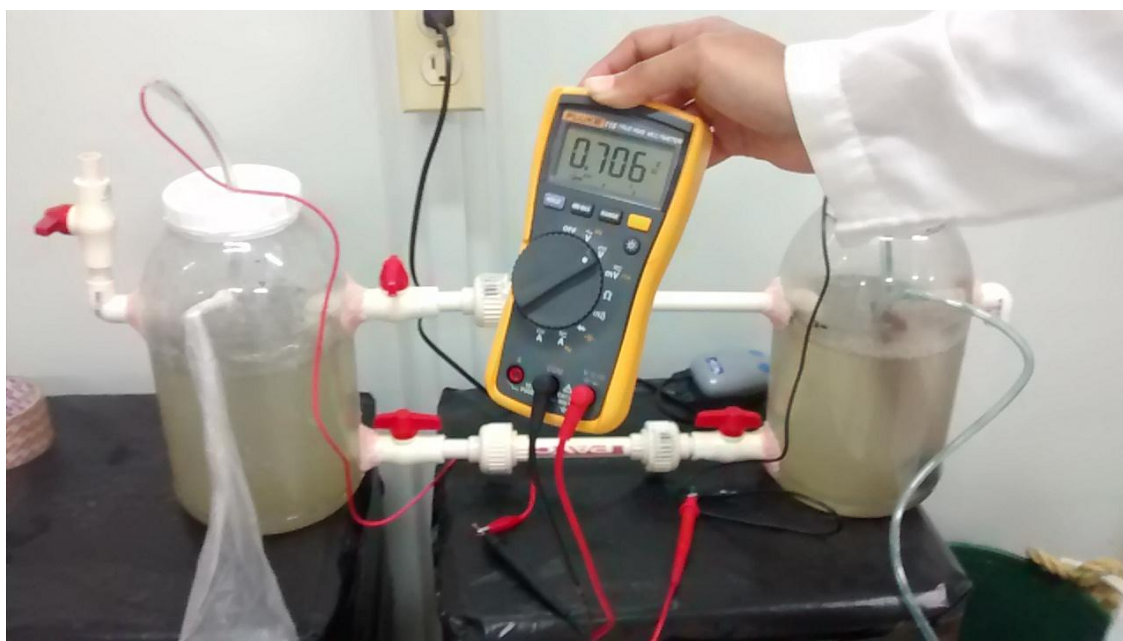
$$E_{Remoción\ DQO\ Semicontinuo} = 80.98\ mg/L$$

$$E_{Remoción\ DQO\ Bacht} = \frac{247.05\ mg/L - 5.98\ mg/L}{247.05\ mg/L} * 100$$

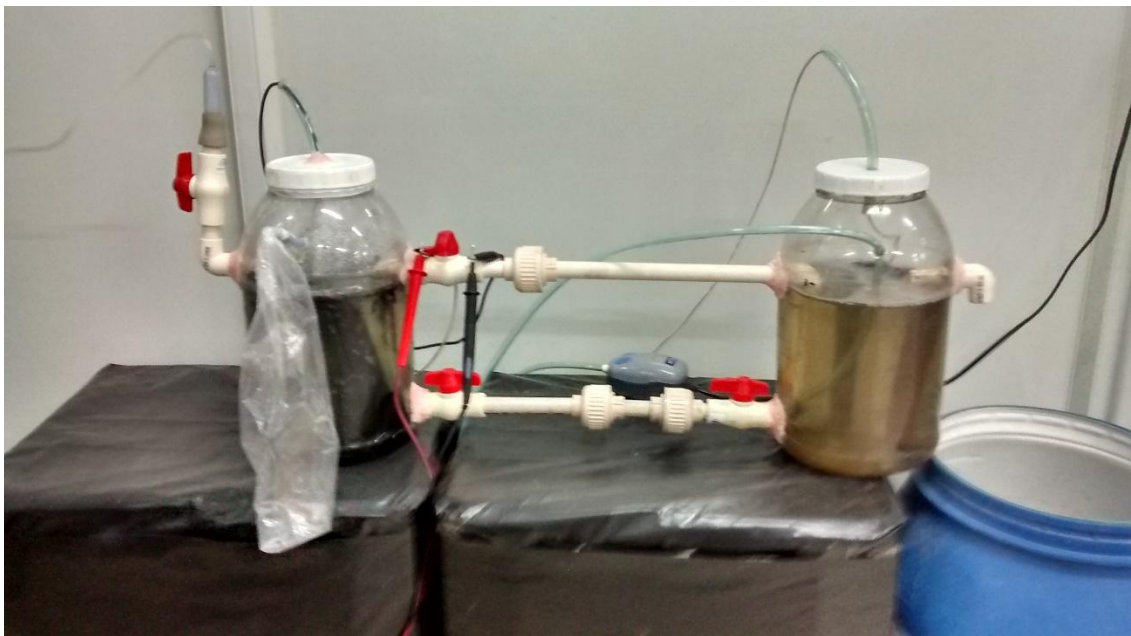
$$E_{Remoción\ DQO\ Bacht} = 97.93\ mg/L$$

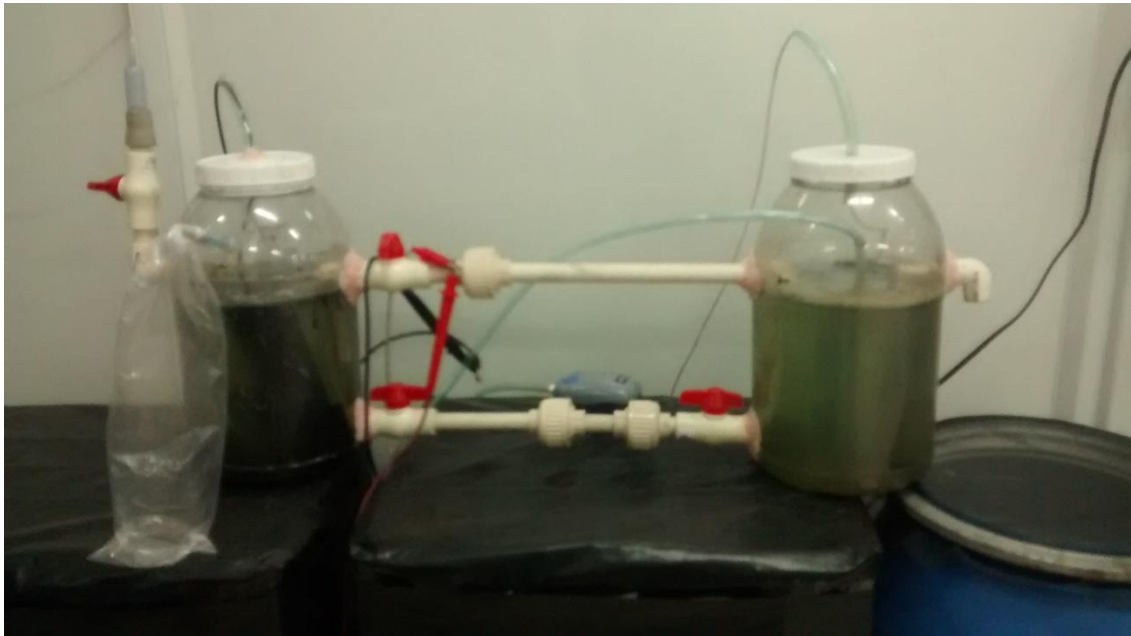
Anexo 6. Registro Fotográfico.














Anexo 7. Presupuesto.

	ITEM	CANTIDAD	VALOR	VALOR TOTAL
E Q U I P O S	Multímetro auto rango RMS (valor real) de alta precisión con interfaz USB, STEREN MUL-630	1	\$ 280,000.00	\$ 280,000.00
	Hp Omni 110 Pro Pentium Dual Core	1	\$ 499,999.00	\$ 499,999.00
	Fuente De Poder Atx-750 Watts 20-24 Pines	1	\$ 25,900.00	\$ 25,900.00
M A T E R I A L	Metro de tubo ½ presión 13,5-315 PSI Pavco	3	\$3,100.00	\$9,300.00
	Codo ½ 90*12 presión Pavco	5	\$300.00	\$1,500.00
	Conector universal ½ presión lisa Humboldt	4	\$3,000.00	\$12,000.00
	Válvula PVC ½ pulgadas lisa Humboldt	4	\$3,200.00	\$12,800.00
	Adaptador hembra ½ presión Pavco	7	\$300.00	\$2,100.00
	Adaptador macho ½ presión Pavco	7	\$250.00	\$1,750.00

E S	Gota mágica	2	\$500.00	\$1,000.00
	Silicona transparente superflex 70 mL	1	\$6,500.00	\$6,500.00
	Soldadura PVC 1/64	1	\$8,700.00	\$8,700.00
	Metro platina de cobre	3	\$36,700.00	\$110,100.00
	Lija	2	\$1,100.00	\$2,200.00
	Manguera	1	\$1,850.00	\$1,850.00
	Faber Castell Pitt 2 grafito puro Caja	2	\$20,063.97	\$40,127.094
	Set De 10 Caimanes De 10cm	1	\$ 5,600.00	\$ 5,600.00
	Cable Multifilar negro metro	2	\$800,00	\$1,600.00
	Cable Multifilar rojo metro	2	\$800,00	\$1,600.00
	Motor Aireador 1 Salida 60 Litros/hr	2	\$ 39,900.00	\$ 79,800.00
	Piedra Difusora De Oxigeno ancha	2	\$5,800.00	\$11,600.00
	Tanque 30 Litros Tapa y Bincha	3	\$20,000.00	\$60,000.00
TOTAL DEL PROYECTO				\$1,176,026

 UNIVERSIDAD DE LA COSTA	NORMAS PARA LA ENTREGA DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO A LA UNIDAD DE INFORMACION	VERSION: 02
		FECHA: Junio 2012
		CODIGO: DOC-VACRE- NETGUDI

ANEXO 1
CARTA DE ENTREGA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA
CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO

Barranquilla, Fecha 1 de agosto de 2016

Marque con una X

Tesis ☐ Trabajo de Grado ☒

Yo Marylin Santander Bossio, identificado con
 C.C. No. 1143.448.942, actuando en nombre propio y como autor de la tesis y/o
 trabajo de grado titulado Implementación de una Celda de Combustible
microbiana a partir de agua residual doméstica presentado y
 aprobado en el año 2016 como requisito para optar al título de
Ingeniera Ambiental;

hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o
 electrónico (DVD) y autorizo a la UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC, para que en los
 términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993,
 Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas
 sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública,
 transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me
 corresponden como creador de la obra objeto del presente documento.

Y autorizo a la Unidad de información, para que con fines académicos, muestre al mundo
 la producción intelectual de la Universidad de la Costa, CUC, a través de la visibilidad de
 su contenido de la siguiente manera:


Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web de
 la Facultad, de la Unidad de información, en el repositorio institucional y en las redes de
 información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la institución y Permita la
 consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para
 todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato DVD o digital desde
 Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

EL AUTOR - ESTUDIANTES, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es
 original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra
 es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad ante la misma. PARÁGRAFO: En caso
 de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los
 derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL ESTUDIANTE - AUTOR, asumirá toda la
 responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los
 efectos, la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y
 tenor, en Barranquilla D.E.I.P., a los 01 días del mes de agosto de Dos Mil
2016.

EL AUTOR - ESTUDIANTE.

Marylin Santander Bossio
 FIRMA

	NORMAS PARA LA ENTREGA DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO A LA UNIDAD DE INFORMACION	VERSION: 02
		FECHA: Junio 2012
		CODIGO: DOC-VACRE-NETGUDI

ANEXO 1

CARTA DE ENTREGA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO
Barranquilla, Fecha 1 de agosto de 2016

Marque con una X

Tesis ☐ Trabajo de Grado ☒

Yo Yirley Del Carmen Racines Guzmán, identificado con C.C. No. 1045.721.834, actuando en nombre propio y como autor de la tesis y/o trabajo de grado titulado Implementación de una celda de combustible microbiano a partir de agua residual doméstica presentado y aprobado en el año 2016 como requisito para optar al título de Ingeniera ambiental;

hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (DVD) y autorizo a la UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento.

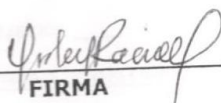
Y autorizo a la Unidad de información, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad de la Costa, CUC, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web de la Facultad, de la Unidad de información, en el repositorio institucional y en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la institución y Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato DVD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.


EL AUTOR - ESTUDIANTES, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad ante la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL ESTUDIANTE - AUTOR, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos, la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Barranquilla D.E.I.P., a los 01 días del mes de agosto de Dos Mil 2016.

EL AUTOR - ESTUDIANTE.



FIRMA

	NORMAS PARA LA ENTREGA DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO A LA UNIDAD DE INFORMACION	VERSION: 02
		FECHA: Junio 2012
		CODIGO: DOC-VACRE-NETGUDI

ANEXO 2
FORMULARIO DE LA DESCRIPCIÓN DE LA TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO

TÍTULO COMPLETO DE LA TESIS O TRABAJO DE GRADO:

Implementación de una red de combustible microbiano
a partir de agua residual doméstica

SUBTÍTULO, SI LO TIENE:

AUTOR AUTORES

Apellidos Completos	Nombres Completos
Racines Germán	Yirley Del Carmen
Santander Bossio	Manjlin

DIRECTOR (ES)

Apellidos Completos	Nombres Completos
Ruben Dario	Cantero Rodelo

JURADO (S)

Apellidos Completos	Nombres Completos
Gomez plata	Leandro
Piñeres Espitia	Gabriel Dario

ASESOR (ES) O CODIRECTOR


Apellidos Completos	Nombres Completos
George Mano	Cardenas Cabrera

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniera ambiental

FACULTAD: Ciencias ambientales

PROGRAMA: Pregrado ☒ Especialización ☐

NOMBRE DEL PROGRAMA Ingeniería ambiental

 UNIVERSIDAD DE LA COSTA 1978	NORMAS PARA LA ENTREGA DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO A LA UNIDAD DE INFORMACION	VERSION: 02
		FECHA: Junio 2012
		CODIGO: DOC-VACRE- NETGUDI

CIUDAD: Barranquilla AÑO DE PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO: 2016

NÚMERO DE PÁGINAS 80

TIPO DE ILUSTRACIONES:

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Ilustraciones | <input type="checkbox"/> Planos |
| <input type="checkbox"/> Láminas | <input type="checkbox"/> Mapas |
| <input type="checkbox"/> Retratos | <input checked="" type="checkbox"/> Fotografías |
| <input checked="" type="checkbox"/> Tablas, gráficos y diagramas | |

MATERIAL ANEXO (Video, audio, multimedia o producción electrónica):

Duración del audiovisual: _____ minutos.

Número de casetes de video: _____ Formato: VHS _____ Beta Max _____ 3/4 _____ Beta Cam _____

Mini DV _____ DV Cam _____ DVC Pro _____ Video 8 _____ Hi 8 _____

Otro. Cuál? _____

Sistema: Americano NTSC _____ Europeo PAL _____ SECAM _____

Número de casetes de audio: _____

Número de archivos dentro del DVD (En caso de incluirse un DVD diferente al trabajo de grado): _____

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o tener una mención especial): _____

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS: Son los términos que definen los temas que identifican el contenido. (En caso de duda para designar estos descriptores, se recomienda consultar con la Unidad de Procesos Técnicos de la Unidad de información en el correo biblioteca@cuc.edu.co, donde se les orientará).


ESPAÑOL

INGLÉS

<u>energía eléctrica, celda de</u>	<u>Electric power, fuel cell microbial,</u>
<u>combustible microbiano, energía</u>	<u>chemical energy, proton exchange</u>
<u>química, membrana de intercambio protonico</u>	<u>membrane.</u>

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS: (Máximo 250 palabras-1530 caracteres):

En la presente investigación se pretende evaluar la generación de energía eléctrica a partir de procesos de degradación de materia orgánica, mediante la implementación de una celda de combustible microbiano a escala piloto o de laboratorio, cuya funcionalidad se basa en la conversión de energía química a energía eléctrica, a partir de procesos de degradación de materia orgánica llevados a cabo por microorganismos presente en las aguas residuales.

 UNIVERSIDAD DE LA COSTA	LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA PUBLICAR Y PERMITIR CONSULTA Y USO	VERSION: 01
		FECHA: OCTUBRE 2015
		CODIGO:DOC-VACRE-FLAPCU

LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA PUBLICAR Y PERMITIR CONSULTA Y USO

San Juan, Fecha: 1 de agosto de 2016

Parte 1. Términos de la Licencia general para publicación de obras en el repositorio institucional


- i. La vigencia es a partir de la fecha en que se incluye en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad con una antelación de dos meses antes de la correspondiente prórroga.
- ii. El Autor / Los autores:
 - Autorizan a la corporación Universidad de la Costa - CUC para publicar la obra en el formato que el repositorio lo requiera (impreso, digital, electrónico o cualquier otro conocido o por conocer) y conocen que dado que se publica en Internet por este hecho circula con un alcance mundial.
 - Aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto renuncian a recibir emolumento alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente Licencia y de la Licencia Creative Commons con que se publica.
 - Manifiestan que se trata de una obra original y la realizó o realizaron sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, obra sobre la que tiene (n) los derechos que autoriza (n) y que es él o ellos quienes asumen total responsabilidad por el contenido de su obra ante la CORPORACION UNIVERSIDAD DE LA CUC y ante terceros. En todo caso la CORPORACION UNIVERSIDAD DE LA COSTA se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del AUTOR o AUTORES y la fecha de publicación. Para todos los efectos la CORPORACION UNIVERSIDAD DE LA COSTA – CUC, actúa como un tercero de buena fé.
 - Autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.
 - Aceptan que la Corporación Universidad de la Costa pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

SI EL DOCUMENTO SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA O UNA ORGANIZACIÓN, CON EXCEPCIÓN DE LA CORPORACION UNIVERSIDAD DE LA COSTA - CUC, LOS AUTORES GARANTIZAN QUE SE HA CUMPLIDO CON LOS DERECHOS Y OBLIGACIONES REQUERIDOS POR EL RESPECTIVO CONTRATO O ACUERDO.

Parte 2. Autorización para publicar y permitir la consulta y uso de obras en el Repositorio Institucional de la Corporación Universidad de la Costa - CUC

Con base en este documento, Usted autoriza la publicación electrónica, consulta y uso de su obra por la Corporación Universidad de la Costa - CUC y sus usuarios de la siguiente manera, Usted:

- Otorga una (1) licencia especial para publicación de obras en el repositorio institucional de la CORPORACIÓN UNIVERSIDAD De La COSTA - CUC (Parte 1) que

 UNIVERSIDAD DE LA COSTA	LICENCIA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA PUBLICAR Y PERMITIR CONSULTA Y USO	VERSION: 01
		FECHA: OCTUBRE 2015
		CODIGO: DOC-VACRE-FLAPCU

forma parte integral del presente documento y de la que ha recibido una (1) copia.
Si autorizo X No autorizo .

- Autoriza para que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados por Usted, con la Licencia Creative Commons Reconocimiento - No comercial - Sin obras derivadas 2.5 Colombia cuyo texto completo se puede consultar en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/> y que admite conocer.

Si autorizo X No autorizo . Si Usted no autoriza para que la obra sea licenciada en los términos expuestos y opta por una opción legal diferente descríbala: _____

EN CONSTANCIA DE LO ANTERIOR:



Tipo de documento:

Artículo Libro Capítulo de Libro Informe / avance de Investigación Tesis X
 Ponencia / Conferencia Video Objeto de Aprendizaje Otro

Título de la obra(s):

Implementación de una celda de combustible microbiana a partir de
agua residual doméstica.

Autor (es):

<u>Yirley Del Carmen Racines Guzmán</u>	<u></u>	<u>1045721934</u>
Nombre	Firma	C.C.
<u>Marylin Santander Bossio</u>	<u></u>	<u>1143448942</u>
Nombre	Firma	C.C.
_____ Nombre	_____ Firma	_____ C.C.
_____ Nombre	_____ Firma	_____ C.C.

Datos contacto: (teléfono, correo Dirección)

3627016, yiracines1@gmail.com, Marylinsantander28@gmail.com

Fecha entrega (D/M/A): 01/08/2016